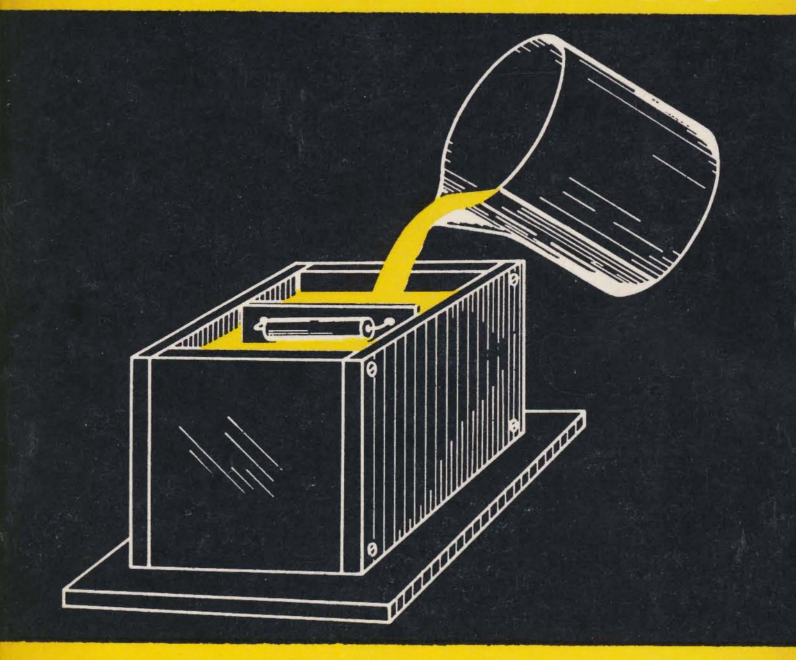
amateurreihe

electronica



Wolfgang Ludeck

146

Gießen in der Amateurtechnik

electronica · Band 146

WOLFGANG LUDECK

Gießen in der Amateurtechnik



MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

1. Auflage, 1.—15. Tausend
© Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) — Berlin, 1976
Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539
Lektor: Rainer Erlekampf
Zeichnungen: Gudrun Maraun
Typografie: Peter Mauksch
Vorauskorrektor: Ingeborg Kern · Korrektor: Ilse Enderich
Hersteller: Ingeburg Zoschke
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 20. März 1976
Bestellnummer: 745 808 6
DDR 1,90 M

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Neben der Klebtechnik interessiert sich der Amateur immer mehr für die Gießtechnik. Zum Gießen ist aber noch weniger Literatur vorhanden als zum Kleben.

Beim Kleben und Gießen benutzt man zwar teilweise die gleichen Rohstoffe, trotzdem ist die Technologie eine völlig andere, und die Forderungen, die an die Gießharze gestellt werden, unterscheiden sich auch wesentlich von denen der Klebharze bzw. Klebstoffe.

Aufgabe dieser Broschüre ist es, dem Amateur die Grundlagen in einfacher Form zu erläutern. Dabei wurde bewußt auf größere theoretische Ausführungen verzichtet.

Zu den Grundlagen, die hier beschrieben werden sollen, gehören neben der Vorstellung der bekanntesten Harze auch die Verarbeitung, der Formenbau, die Technik des Gießens sowie die Nachbearbeitung von Gießlingen. Relativ neu ist das Kapitel der Gestaltung von Gießlingen, über das an anderer Stelle ausführlicher berichtet werden müßte.

Der Verfasser hofft, dem Leser einen Querschnitt des Gebietes zu geben und ihn dabei gleichzeitig so weit zu befähigen, daß er einfache Aufgaben selbst lösen kann.

1. Theoretische Einführung

1.1. Allgemeine Bemerkungen

In der Elektrotechnik, Modell- und Amateurtechnik kann es erforderlich sein, Bauteile, Baugruppen, Elemente oder sonstige Teile mit Hilfe von Plastwerkstoffen zu schützen oder zu isolieren, um ihren Gebrauchswert zu erhöhen. Dafür verwendet man in der Regel flüssige Plastwerkstoffe, die durch geeignete chemische Verfahren verfestigt werden.

Grundsätzlich ist nach [1] zwischen Gießen, Einbetten, Umhüllen, Ausgießen und Imprägnieren zu unterscheiden. Man definiert in [1] die Begriffe wie folgt:

Gießen
Herstellen von Formkörpern mit Hilfe von flüssigen oder durch Erwärmen verflüssigte, in Formen gießbare, ohne Druck sich verfestigende Kunstharze. Siehe dazu Bild 1.1.

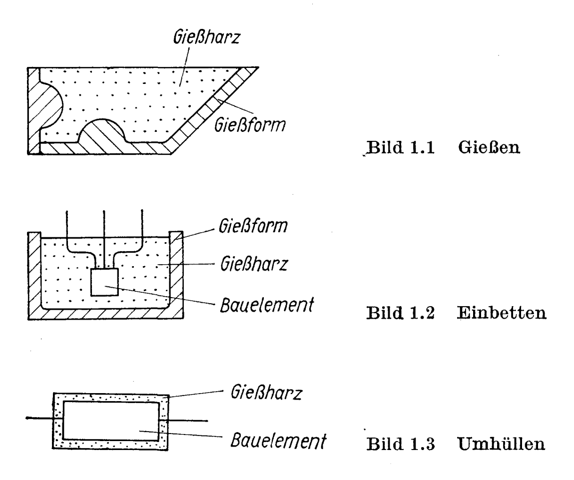


Bild 1.1 Gießen

Bild 1.2 Einbetten

Bild 1.3 Umhüllen

Einbetten

Einlagern eines Teils, Bauelements oder Geräts in Kunstharz. Hierbei wird im Vergleich zum eingebauten Teil, Bauelement oder Gerät ein großes Volumen mit Plast ausgefüllt. Siehe dazu Bild 1.2.

Umhüllen

Aufbringen einer $\leqq 0{,}5$ mm dicken Kunstharzschicht auf ein Teil, Bauelement oder eine Baugruppe, wobei der Plastwerkstoff in der Regel nach der Verfestigung einen allseitig geschlossenen Überzug bildet. Siehe dazu Bild 1.3.

Ausgießen

Füllen von Hohlräumen mit Kunstharz, die sich bei Einbau eines Teils, eines Bauelements oder Geräts ergeben. Hierbei wird im Vergleich zum eingebauten Teil, Bauelement oder Gerät nur ein kleines Volumen mit Plast ausgefüllt. Siehe dazu Bild 1.4.

Imprägnieren

Vollständiges Ausfüllen kleinster kapillarer Hohlräume in einem Teil oder Bauelement durch ein flüssiges Kunstharz, bevor es sich verfestigt. Siehe dazu Bild 1.5.

Die nachfolgenden Betrachtungen zeigen, daß das Gießen und das Einbetten die größte Bedeutung haben. Wie dabei aus der Definition entnommen werden kann, gelangen größere Mengen Harz zum Einsatz. Es ist aus diesem Grund erforderlich, etwas näher auf die chemischen Reaktionen und ihre Begleiterscheinungen einzugehen.

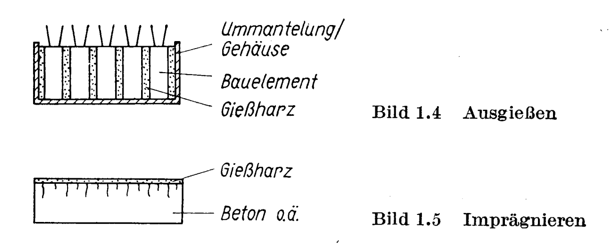


Bild 1.4 Ausgießen

Bild 1.5 Imprägnieren

1.2. Die chemischen Reaktionen der Harze

In der Gießharztechnik werden u. a. Epoxid-, Polyester- und Acrylatharze eingesetzt. Dabei kommt den Acrylaten mit Abstand die geringste Bedeutung zu. Die Industrie verwendet auch noch Silikonharze und -kautschuke sowie Polyurethane, kalthärtende Phenolharze und Kohlenwasserstoffharze, auf die aber in dieser Broschüre mit Ausnahme der sogenannten Silikonkautschukpasten nicht eingegangen wird.
Die Epoxidharze, die in der Amateurtechnik Anwendung finden, sollten niedermolekular und flüssig sein. Man kann sie u. a. mit Polyaminen oder Aminoamiden kalt härten. Die dabei eintretende Reaktion ist eine Polyaddition, bei der keine Spaltprodukte frei werden, die aber exotherm, d. h. unter Wärmeentwicklung abläuft.
Die zweite große Gruppe sind die ungesättigten Polyesterharze, die bei Zusatz von Katalysatoren und Beschleunigern bei Raumtemperatur härten. Die Reaktion ist eine Polymerisation, die ebenfalls exothermen Charakter hat. Die Schrumpfung der ungesättigten Polyesterharze beträgt etwa 8 bis 10%.
Weniger bekannt ist es, Acrylatharze als Gießharze zu verwenden. Die Art der Reaktion ist ebenfalls eine Polymerisation, die mit Katalysatoren und Beschleunigern bei Raumtemperatur abläuft. Das Harz erwärmt sich während der Härtung sehr stark. Die Schrumpfung beträgt etwa 10 bis 20%.
Bei den Silikonkautschuken und hier speziell bei den sogenannten EKV-Pasten (Einkomponenten-Vernetzer-Pasten) tritt unter Einwirkung von Luftfeuchtigkeit eine Vernetzung ein, die aus der Paste einen weichen Gummi entstehen läßt. Die Schrumpfung ist kaum feststellbar und beträgt etwa 0,5%. Da die Reaktionsintensität recht niedrig ist, spürt man ihren exothermen Charakter nicht.
Aus den bisherigen Betrachtungen geht hervor, daß bei der Reaktion von Epoxid-, Polyester- und Acrylatharzen Wärme frei wird. Da diese Wärme die Reaktion gleichzeitig beschleunigt, sollen die Harzansätze möglichst klein sein. Auf die konkrete Menge wird bei der Erläuterung der bekanntesten Gießharze eingegangen. Größere Gießlinge sind gegebenen-

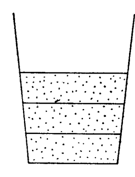


Bild 1.6
Gießling, in drei Schichten gegossen und normal gehärtet

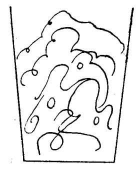


Bild 1.7
Gießling, bei gleicher Einsatzmenge mit einem Guß hergestellt, durch zu starke Reaktion geschäumt

falls in mehreren Schichten zu gießen. Erwärmt sich ein Gießling zu stark, dann kommt es im Harz zu Spannungen und Rissen, die die späteren Eigenschaften erheblich beeinflussen, oder das Harz fängt an zu schäumen, und der Gießling wird meist unbrauchbar.
Man kann sich auch helfen, indem das Harz und der gegossene Körper gekühlt werden und so die Wärme abgeführt wird.

1.3. Charakterisierung der Harze

Sowohl Epoxid- als auch Polyesterharze sind im ausgehärteten Zustand Duroplaste, d. h., sie werden bei einer Erwärmung nicht wieder flüssig.
Acrylatharze sind Thermoplaste, und man könnte sie durch Erwärmung wieder erweichen bzw. verflüssigen. Entsprechend dieser Eigenart sind Acrylatharze temperaturempfindlicher als Epoxid- und Polyesterharze. Darüber hinaus zeigen sie wie die meisten Thermoplaste erhöhte Lösungsmittelempfindlichkeit.
Beim Arbeiten mit allen Harzen sind folgende Dinge unbedingt zu berücksichtigen:
— Vor der Entnahme der Einzelkomponenten aus den Vorratsgefäßen ist in vielen Fällen ein Umrühren erforderlich,

speziell bei füllstoffhaltigen Harzen oder Flüssigkeiten mit kristallinen Zusätzen.

- Das Mischungsverhältnis zwischen dem jeweiligen Harz und den dazugehörigen Härtungsagenzien ist einzuhalten. Die speziellen Hinweise zu jedem Erzeugnis sind unbedingt zu beachten.
- Die Mischung der Komponenten ist so gründlich vorzunehmen, daß eine homogene Masse vorliegt. Dabei sollten möglichst wenig Blasen in die Mischung eingerührt werden.
- Kleb-, Gieß- und Laminierharze gehören nicht in Kinderhände.
- Die Arbeitsschutz- und Herstellerhinweise sind unbedingt zu beachten.

Neben diesen Punkten gibt es natürlich noch eine Reihe von Kriterien, auf die später bei der Beschreibung der verschiedenen Erzeugnisse noch eingegangen wird. Hervorzuheben ist noch, daß sich durch die einfache Technologie und die relativ leichte Handhabung der Harze die Gießtechnik großer Beliebtheit erfreut. Das Verfahren selbst ist in der Industrie zum festen technologischen Bestandteil der Forschung, des Modellbaus und der Produktion geworden.

1.4. Arbeitsgeräte für die Gießtechnik

Die Ausrüstung ist denkbar einfach und besteht aus folgenden Geräten:

- Waage, z. B. Küchenwaage, Briefwaage oder technische Laborwaage;
- Mischgefäße wie Papp-, Polyäthylen- oder PVC-Becher, aber auch nicht mehr benötigte Blechbüchsen und Gläser sind dafür geeignet. Wegwerfbehälter sind anderen Gefäßen vorzuziehen;
- Rührgeräte: Als Rührer können Spatel, Spachtel, Holzspan oder Stäbe aus Polyäthylen, PVC oder anderen Werkstoffen verwendet werden;

- Papier zum Auslegen des Arbeitsplatzes, um Tropfen, Spritzer oder verschüttete Flüssigkeiten oder Feststoffe leichter zu erkennen;
- Schutzbrille zum Schutz der Augen, da ein Teil der zu verwendenden Stoffe ätzend oder anderweitig schädigend ist;
- Form oder Werkzeug, in das gegossen werden soll;
- Gefäß mit Wasser zum Kühlen größerer Ansätze;
- Fließ- oder Toilettenpapier zum Abwischen von Spritzern;
- Eventuell Thermometer von 0 bis 200 °C;
- Trennmittel.

Da dem Amateur im allgemeinen weder elektrische Rührwerke, Vakuumpumpen noch Gießanlagen zur Verfügung stehen, wird darauf auch nicht weiter eingegangen.

2. Übersicht und Eigenschaften gebräuchlicher Gießharze

Da das Angebot an Harzen, die sich zum Gießen eignen, mit den Jahren recht groß geworden ist, werden hier nur die bekanntesten und wichtigsten Produkte vorgestellt.

2.1. Epoxidharze

Bei den Epoxidgießharzen ist ähnlich wie bei Epoxidharzklebstoffen zwischen kalt-, warm- und heißhärtenden Produkten zu unterscheiden. Die einzige hier mit aufgenommene heißhärtende Kombination ist *Epilox EG 34* mit *Härter 105*.

2.1.1. Epilox EGK 19

Von der Beschaffenheit her ist *Epilox EGK 19* ein kalthärtendes, lösungsmittelfreies, niedrigmolekulares Epoxidharz, das eine Viskosität von 1700 bis 3000 cP hat, also relativ dünnflüssig ist. *Epilox EGK 19* kann mit *Härter 3* oder *Härter 8* gehärtet werden.

Härter 3 ist ein technisches Dipropylentriamin von wasserheller bis grün-bräunlicher Farbe. Die Flüssigkeit ist hygroskopisch, raucht an der Luft und wirkt stark ätzend!

Härter 8 ist ein aromatisches Aminoamid. Er ist lösungsmittelhaltig, von rotbrauner Farbe und wirkt nicht ätzend.

Das Mischungsverhältnis beträgt mit *Härter 3* 100:11 MT und mit *Härter 8* 100:45 MT.

Die Gebrauchsdauer beträgt für einen 100-g-Ansatz mit *Härter 3* etwa 35 bis 45 Minuten und mit *Härter 8* etwa 100 Minuten.

Tabelle 2.1

Eigenschaften von Epilox EGK 19 mit Härter 3 bzw. Härter 8

Prüfung	TGL	Einheit	Epilox EGK 19 mit Härter 3	Härter 8
Schlagbiegefestigkeit	16 446 Bl. 4	cmkp/cm²	20—28	15—23
Biegefestigkeit	16 446 Bl. 4	kp/cm²	1100	800
Zugfestigkeit	16 446 Bl. 4	kp/cm²	700	600
E-Modul aus Biegeversuch	14 067	kp/cm²	28×10^3	24×10^3
Lineare Schwindung		%	<1	<1
Volumenschwindung	16 446 Bl. 3	%	3,5—4,5	3,5—4,5
Torsionsschwingversuch max.	16 446 Bl. 4	°C	91	70
Kugeldruckhärte	16 446 Bl. 4	kp/cm²	1200	850
Wärmeformbeständigkeit nach Martens	16 446 Bl. 4	°C	63	58
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	200—0045	mm/mm °C	$8{,}8 \times 10^{-5}$	$9{,}6 \times 10^{-5}$
Zersetzungstemperatur		°C	>350	>350
Dielektr. Verlustfaktor tan δ bei 800 Hz, 20 °C	16 446 Bl. 4	—	$1{,}2 \times 10^{-2}$	2×10^{-2}
Dielektrizitätskonstante bei 800 Hz, 20 °C	16 446 Bl. 4	—	4,0	4,6

Spez. Volumen-widerstand bei 1000 V	16 446 Bl. 4	$\Omega \times$cm	3×10^{15}	8×10^{14}
Durchschlag-festigkeit	200-0009	kV/mm	62	65
Kriechstrom-festigkeit	200-0018 (Verfahren B)	—	600	600
Oberflächen-widerstand	16 446 Bl. 4	Ω	3×10^{15}	3×10^{15}

Die Eigenschaften der Gießharz-Formstoffe mit *Epilox EGK 19* gibt [2] in der vorstehenden Übersicht an: Wie aus der Übersicht zu entnehmen ist, verfügt *Epilox EGK 19* über gute mechanische und dielektrische Eigenschaften, die es gestatten, dieses Harz für die vielfältigsten Aufgaben, besonders in der Elektrotechnik, einzusetzen.
Die Viskosität der Harz-Härter-Mischung beträgt mit *Härter 3* etwa 700 cP und mit *Härter 8* etwa 1500 cP.
Allen kalthärtenden Harzen ist gemeinsam, daß sofort nach Zugabe des Härters die chemische Reaktion beginnt. Äußerlich wird das durch ein zunächst nur sehr langsames Ansteigen der Temperatur der Mischung festgestellt. Zum Ende der Gebrauchsdauer erhöht sich die Temperatur sehr schnell und sehr stark. Nach eigenen Untersuchungen steigt die Temperatur eines 100-g-Ansatzes mit *Härter 3* auf etwa 140 bis 160 °C und mit *Härter 8* auf 80 bis 100 °C an.
Durch Kühlen der Form in fließendem Wasser kann dieser Temperaturanstieg je nach Dimensionierung und Formwerkstoff auf 60 bis etwa 35 °C reduziert werden. Die Temperatur der Rohstoffe sollte möglichst nicht über 25 °C liegen, weil sich sonst die Gebrauchsdauer erheblich verkürzt. Harzansätze über 100 g kann man mit auf 5 bis 10 °C vorgekühlten Komponenten in kühlbaren Formen vergießen. Die Kühlung eines Ansatzes hat den Vorteil, daß durch die niedrigere Temperaturerhöhung keine so starken Spannungen im Gießling auftreten, was für tragende Bauteile wesentlich ist. Außerdem werden empfindliche Bauteile thermisch nicht geschädigt.

Sowohl mit *Härter 3* als auch *Härter 8* wird bei *Epilox EGK 19* nach etwa 24 Stunden bei 20 °C eine gute Festigkeit erzielt. Die endgültige Aushärtung ist jedoch erst nach einigen Tagen erreicht. Man kann diese Zeit verkürzen, wenn man nach der 24stündigen Härtung bei Raumtemperatur eine Nachhärtung von 2 Stunden bei 90 bis 100 °C durchführt. Dabei ist nicht die Zeit berücksichtigt, die erforderlich ist, den Gießling bzw. das Werkstück auf diese Temperatur zu erwärmen. Eine sofortige Warm- oder Heißhärtung ist nur möglich, wenn sehr dünne Harzschichten vorliegen, wie das z. B. bei Klebfugen der Fall ist. So kann man *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* bei 60 °C in 30 Minuten, mit *Härter 8* in 120 Minuten aushärten. Wichtig erscheint es noch, die weiteren Unterschiede zwischen Mischungen von *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* und *Härter 8* hervorzuheben.

Härter 8:
- färbt die Mischung dunkel.
- Die exotherme Reaktion ist nicht so stark.
- Die Härtung verläuft langsamer.
- Gießlinge sind elastischer.
- Die Dosierung des Härters muß nicht so genau gehandhabt werden, eine Überdosierung führt zu einer zusätzlichen Flexibilisierung.
- Mit zunehmendem Härterzusatz sinkt die Wärme- und Wasserbeständigkeit.
- Die Verarbeitungseigenschaften sind angenehmer, weil keine ätzenden Dämpfe entstehen und das Lösungsmittel durch seine Schwerflüchtigkeit nicht stört.
- Das Gemisch ist relativ unempfindlich gegen Feuchtigkeit bei der Verarbeitung.

Härter 3:
- hat eine starke exotherme Reaktion.
- Die Gebrauchsdauer ist kürzer.
- Die Aushärtung erfolgt schneller.
- Die Dosierung muß recht genau vorgenommen werden, da sonst die Eigenschaften sowohl bei Über- als auch Unterdosierung abfallen.

— Das Gemisch ist gut einfärbbar.

Zwischen einer Klebverbindung und dem Gießling bestehen besonders hinsichtlich der Chemikalienbeständigkeit erhebliche Unterschiede. Vom VEB Leuna-Werke *Walter Ulbricht* wurden an aus *Epilox EGK 19/Härter 3* hergestellten Probekörpern Versuche durchgeführt.
Die Untersuchungen wurden an Prüfkörpern der Abmessung 50 mm × 15 mm × 10 mm durchgeführt. Charakteristisch für die Beurteilung war die Menge des aufgenommenen Mediums.

Tabelle 2.2.
Chemikalienbeständigkeit von Epilox EGK 19 mit Härter 3

Medium	Einwirkungsdauer				
	30 Tage	1 Jahr	3 Jahre	5 Jahre	8 Jahre
Wasser, dest.	+	○	○	○	–
Natriumchloridlösung, 10%ig	+	○	○	○	–
Salzsäure, 10%ig	○	○	–		
Salzsäure, 1%ig	+	○	–		
Schwefelsäure, 10%ig	○	–			
Essigsäure, 10%ig	–				
Essigsäure, 1%ig	○	○	–		
Fettsäure	–				
Natronlauge, 50%ig	+	+	+	+	+
Natronlauge, 10%ig	+	○	○	○	–
Ammoniak, 10%ig	+	○	○	–	
Formalin, 30%ig	○	○	○	–	
Formalin, 5%ig	+	○	○	–	
Alkohol, 50%ig	–				
Alkohol, 10%ig	+	○	○	○	

Benzin	+	+	+	+	○
Dieselöl	+	+	+	+	+
Benzol	—				
Toluol	○	—			
Dimethyl-formamid	—				

\+ = beständig
○ = mit Vorbehalt oder bedingt beständig
— = unbeständig

Zur Anwendung ist zu bemerken, daß *Epilox EGK 19* insbesondere mit *Härter 3* sowohl in der Hoch- als auch in der Niederspannungstechnik eingesetzt wird. Einige Beispiele sollen das Einbetten, Umhüllen oder Ausgießen von Kondensatoren, Spulen, Steckverbindungen, Transistoren, Transformatoren, Widerständen, Schalterteilen, Gleichrichtern, Wandlern, Muffen und viele anderen Bauteilen sein.

2.1.2. Epilox EG 34

Epilox EG 34 wird wie auch alle anderen Epilox-Typen vom VEB Leuna-Werke *Walter Ulbricht* hergestellt. Dieses Produkt hat ein bernsteinfarbenes, klares Aussehen und eine Viskosität von 25000 bis 50000 cP bei 20 °C, d. h., es ist bei dieser Temperatur recht dickflüssig. *Epilox EG 34* kann sowohl mit aliphatischen Polyaminen wie *Härter 3*, mit Aminopolyminen wie *Härter 8* als auch mit aromatischen Polyaminen wie *Härter 105*, ein Diaminodiphenylmethan, zur Härtunggebracht werden. Die Härtung selbst ist wie bei allen anderen Epoxidharzen auch eine Polyaddition, die ohne Abspaltung flüchtiger Bestandteile abläuft.

Das Mischungsverhältnis beträgt
mit Härter 3 100:12 MT,
mit Härter 8 100:60 MT und
mit Härter 105 100:33 MT.

Die Viskosität beträgt bei *Epilox EG 34/Härter 3* 2500 cP und bei *EG 34/Härter 8* 1500 bis 1700 cP.

Die Gebrauchsdauer ist bei diesem Harz mit beiden Härtern etwas länger als bei Mischungen mit *Epilox EGK 19*. Ansonsten gelten die gleichen Bedingungen wie bei der Verarbeitung von *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* oder *8*.

Völlig anders ist die Handhabung der Kombination *Epilox EG 34* mit *Härter 105*. Dieser dunkelbraune, zähflüssige Härter neigt leicht zum Auskristallisieren. Wie schon gesagt, handelt es sich um ein aromatisches Amin, das erst bei höherer Temperatur mit dem Epoxidharz reagiert.

Zum *Härter 105* ist zu bemerken, daß er sich auf Grund seiner komplizierteren Handhabung weniger für die häusliche Umgebung eignet als vielmehr für Arbeitsgemeinschaften im Betrieb.

Epilox EG 34 wird in der erforderlichen Menge abgewogen, in ein Blechgefäß gefüllt und auf etwa 70 °C erhitzt. Es ist darauf zu achten, daß nur saubere und trockene Gefäße benutzt werden. Der *Härter 105* wird ebenfalls in der vorher berechneten Menge abgewogen, zum Schmelzen auf 130 °C erwärmt und zur Verarbeitung auf 70 °C abgekühlt. Danach wird der Härter in das Harz gegossen und so lange gemischt, bis die Masse homogen ist. Die Viskosität dieser Mischung beträgt bei 70 °C etwa 1000 bis 1500 cP, die Gebrauchsdauer liegt zwischen 40 und 60 Minuten. In dieser Zeit muß das heiße Harz/Härter-Gemisch verarbeitet werden. Die Härtung sollte in zwei Stufen erfolgen, wobei eine Vorreaktion über 3 bis 5 Stunden bei 80 bis 90 °C zu empfehlen ist. Nach dieser Zeit ist das Harz zwar fest, aber noch nicht durchgehärtet. Die vollständige Härtung erfolgt während der zweiten Stufe, die sich gleich ohne zwischenzeitliche Abkühlung anschließen soll, bei 130 °C über 2 Stunden. Danach kann man langsam erkalten lassen. Ein zu schnelles Abkühlen führt zu unnötigen Spannungen und unter Umständen zu Rissen. Die Zeitangaben enthalten nicht die erforderliche Heizdauer bis zum Erreichen der angegebenen Temperaturen.

Epilox EG 34 hat mit *Härter 3, 8* oder *105* nach [3] folgende Eigenschaften:

Tabelle 2.3
Eigenschaften von Epilox EG 34 mit Härter 3, 8 bzw. 105

Prüfung	TGL	Einheit	Epilox EG 34 mit Härter 3	Härter 8	Härter 105
Schlagbiegefestigkeit	16 446 Bl. 4	cmkp/cm^2	16		40
Biegefestigkeit	16 446 Bl. 4	kp/cm^2	1200	1000	1100
Zugfestigkeit	16 446 Bl. 4	kp/cm^2	700	600	750
E-Modul (aus Biegeversuch)	—	kp/cm^2		28 bis 32×10^3	
Lineare Schwindung	—	%			0,722
Kugeldruckhärte (nach 60 Sekunden)	16 446 Bl. 4	—	1150	1100	1200
Wärmeformbeständigkeit nach Martens	16 446 Bl. 4	°C	90	70	140
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	200—0045	mm/mm °C		60 bis 65×10^{-6}	
Zersetzungstemperatur	—	°C		300 bis 350	
Dielektrischer Verlustfaktor bei 800 Hz und 20 °C	16 446 Bl. 4	—	$1{,}2 \times 10^{-2}$	$1{,}6 \times 10^{-2}$	$1{,}0 \times 10^{-2}$
Dielektrizitätskonstante bei 800 Hz und 20 °C	16 446 Bl. 4	—	4,4	5,0	4,3

Prüfung	TGL	Einheit	Epilox EG 34 mit		
			Härter 3	Härter 8	Härter 105
Spez. Volumenwiderstand	16 446 Bl. 4	$\Omega \times cm$	$1,2 \times 10^{15}$	$5,0 \times 10^{13}$	$1,1 \times 10^{16}$
Durchschlagfestigkeit	200—0009	kV/mm	~75	~75	~80
Kriechstromfestigkeit	200—0018	Verf. B	>600	>600	>600
Oberflächenwiderstand	16 446 Bl. 4	$\Omega \times cm$	$1,8 \times 10^{16}$	$5,3 \times 10^{14}$	$5,0 \times 10^{17}$

Über die Prüfung der Chemikalienbeständigkeit werden in [3] ebenfalls Angaben gemacht, die hier gekürzt wiedergegeben sind. Die Prüfung wurde nach der TGL 0-53472 durchgeführt, die Probekörper von 50 mm × 15 mm × 10 mm Größe vorsieht. Die Bewertung erfolgte an Hand der Aufnahme des Mediums durch den Prüfkörper. Bei *Epilox EG 34* mit *Härter 3* bestehen folgende Verhaltensweisen:

Tabelle 2.4
Chemikalienbeständigkeit von Epilox EG 34 mit Härter 3

Medium	Einwirkungsdauer				
	30 Tage	1 Jahr	3 Jahre	5 Jahre	8 Jahre
Wasser, dest.	+	○	○	○	○
Salzsäure, 1- bis 20%ig	+	○	○	—	—
Essigsäure, 10%ig	○	—	—	—	—
Natronlauge, 10%ig	○	○	○	○	○
Ammoniak, 10%ig	+	○	○	○	○
Natriumchlorid-lösung, 3%ig	+	○	○	○	○
n-Benzin	+	+	+	+	○
Toluol	+	+	+	+	○
n-Butanol	+	+	+	+	○
Dimethyl-formamid	—	—	—	—	—

\+ = beständig
○ = mit Vorbehalt oder bedingt beständig
— = unbeständig

Die Anwendung von *Epilox EG 34* mit *Härter 3* und *8* ist ähnlich wie bei *Epilox EGK 19*, jedoch muß man bei Verwendung von *Härter 3* die größere Sprödigkeit beachten. Mit *Härter 105* wird es zur Herstellung von korrosionsfesten gut bearbeitbaren Gießlingen sowie für solche Anwendungsfälle in der Elektro-

industrie benutzt, bei denen kalthärtende Harze nicht mehr den Anforderungen genügen.

Tabelle 2.5
Chemikalienbeständigkeit von Epilox EG 34 mit Härter 105

Für Epilox EG 34 mit Härter 105 gelten folgende Hinweise:

Medium	Einwirkungsdauer				
	30 Tage	1 Jahr	3 Jahre	5 Jahre	8 Jahre
Wasser, dest.	+	○	○	○	○
Salzsäure, 10%ig	○	—	—	—	—
Salzsäure, 1%ig	+	○	○	○	○
Essigsäure, 10%ig	+	○	○	○	○
Natronlauge, 10%ig	+	○	○	○	○
Ammoniak, 10%ig	+	○	○	○	○
Natriumchloridlösung, 3%ig	+	○	○	○	○
n-Benzin	+	+	○	○	○
Toluol	+	+	○	○	○
n-Butanol	+	+	+	+	○
Dimethylformamid	—	—	—	—	—

+ = beständig
○ = mit Vorbehalt oder bedingt beständig
— = unbeständig

Ergänzend sei noch bemerkt, daß aus *Epilox EG 34* Spachtelmassen hergestellt werden können, die ebenfalls über gute Wärmebeständigkeiten verfügen.

2.1.3. Epilox EGK 54

Dieses Harz ist lösungsmittelfrei, bernsteinfarben, transparent und mit 1500 bis 2500 cP von niedriger Viskosität. Es ist kalt härtbar und kann sowohl mit *Härter 3* als auch mit *Härter 8* umgesetzt werden. Das Mischungsverhältnis beträgt mit *Härter 3* 100:9 MT und mit *Härter 8* 100:35 MT.
Für die Härtung gelten die gleichen Bedingungen wie für *Epilox EGK 19,* nur daß der Härtungsverlauf selbst etwas ruhiger ist. Die Gebrauchsdauer beträgt mit *Härter 3* etwa 40 und mit *Härter 8* etwa 100 Minuten. Die Viskosität der Mischung ist bei 20 °C 1600 bzw. 2000 cP. Die Eigenschaften von *Epilox EGK 54* unterscheiden sich von *Epilox EGK 19* besonders dadurch, daß *EGK 54* einen höheren Anteil eines nichtreaktiven Verdünners enthält, der sowohl die thermischen, mechanischen als auch dielektrischen Eigenschaften negativ beeinflußt. Trotzdem ist das Eigenschaftsbild so gestaltet, daß dieses Produkt für viele Zwecke völlig genügt. Durch seine geringe Wärmeformbeständigkeit, die mit *Härter 3* 45 °C und mit *Härter 8* 30 bis 35 °C beträgt, eignet es sich weniger für Teile, die neben einer mechanischen auch noch eine thermische Belastung aushalten sollen. Bei starker lang andauernder thermischer Beanspruchung „schwitzen“ Gießlinge etwas Weichmacher aus und zeigen Schrumpferscheinungen. Die Dauertemperaturbeanspruchung sollte deshalb 50 °C nicht überschreiten. Zur Anwendung ist zu bemerken, daß *Epilox EGK 54* neben anderem hauptsächlich zur Herstellung von Kabelmuffen und Kabelendverschlüssen verwendet wird.

2.1.4. Epilox EGK 106

Epilox EGK 106 ist ein niedrigmolekulares Epoxidharz, das mit einem reaktiven Verdünner modifiziert wurde. Es ist von klarem gelbem bis braunem Aussehen und hat mit 350 bis 650 cP eine sehr niedrige Viskosität. Es handelt sich um ein kalthärtendes Harz, das mit *Härter 3* 100:12 MT bzw. *Härter 8* 100:55 MT gemischt werden muß. Durch den dünnflüssigen

Zustand der Mischung können eventuell eingerührte Luftblasen leichter entweichen. Die Gebrauchsdauer des Gemisches ist mit 15 bis 25 Minuten sehr kurz, jedoch ausreichend lang, wenn alle vorbereitenden Arbeiten vor dem Anrühren erledigt wurden. Eine gewisse Verlängerung der Gebrauchsdauer erhält man durch eine Vorkühlung von Harz und Härter auf etwa +5 °C. Da die Härtung recht schnell verläuft und die dabei frei werdende Wärmemenge groß ist, empfiehlt es sich, bei kompakten Vergüssen über 50 g die Form oder das Werkzeug zu kühlen.
Bei der Anwendung ist zu beachten, daß es mit *Härter 3* eine Formbeständigkeit nach *Martens* bis mindestens 45 °C hat. Es wird dadurch weniger für konstruktive Aufgaben im Maschinenbau als vielmehr für den Verguß kleiner Bauteile der Elektrotechnik/Elektronik verwendet. Durch seine Dimensionsstabilität eignet es sich zur Fertigung maßgenauer Werkstücke, wobei durch die niedrige Viskosität auch die Ausbildung sehr feiner Konturen möglich ist. Dieser dünnflüssige Zustand ermöglicht auch die Anwendung als Tränk- oder Träufelharz.

2.1.5. Epasol EP 2

Dieses Produkt ist ein mit mineralischen Füllstoffen angereichertes Epoxidharz, das vom VEB *Asol*-Chemie hergestellt wird. Die Besonderheit besteht darin, daß der Härter kein reines Polyamin, sondern ein insitu-Addukt zwischen einem Epoxidharz und einem Polyamin ist. Produkte dieser Art haben den Vorteil, in einem günstigeren Mischungsverhältnis mit dem Harz zu stehen, nicht so stark exotherm zu reagieren, eine größere Mischungstoleranz als Polyamine zu ermöglichen und bei guter Reaktionsführung arbeitsschutztechnisch nicht so unangenehm zu sein.
Bei den *Epasol*-Typen wird das Harz als A-Teil und der Härter als B-Teil bezeichnet. Der A-Teil ist rot und der B-Teil grün gefärbt. Die Viskosität beträgt beim Harz 4000 bis 10000 cP und beim Härter 8000 bis 15000 cP, d. h., daß dieses Produkt

im Vergleich zu füllstoffreinen Epoxidharzen relativ dickflüssig ist. Das Mischungsverhältnis vom Teil A : Teil B beträgt 4:1 MT.

Beim Anrühren eines Ansatzes sind beide Komponenten so lange zu mischen, bis ein einheitlicher Farbton entsteht. Dabei ist das Einrühren von Luftblasen möglichst zu vermeiden. Die Mischung hat bei einem 100-g-Ansatz eine Gebrauchsdauer von etwa 60 Minuten. Die Härtung erfolgt in 24 Stunden bei 20 °C oder in 3 Stunden bei 80 °C. Das ausgehärtete Harz ist von bräunlich-grauer Farbe.

Wenn die Reaktionswärme abgeführt wird und die Wandstärke des Gießlings nicht zu stark ist (unter 8 mm, in Ausnahmefällen bis 12 mm), sind Vergüsse bis etwa 400 g möglich. *Epasol EP 2* wird vorrangig im Modell- und Lehrenbau sowie für das Eingießen von Halterungen, Buchsen u. a. mechanischen Teilen in Geräten und Anlagen verwendet. Die Wärmeformbeständigkeit nach *Martens* entspricht ungefähr der von *Epilox EGK 19.* Im übrigen sollten auch die dort gegebenen Hinweise beachtet werden.

2.1.6. Epasol EP 9

Dieses Epoxidharz ähnelt in seiner Beschaffenheit dem *Epilox EGK 19.* Es ist füllstofffrei, das Harz transparent gelb und der Härter gelb bis farblos oder grün eingefärbt. Das Mischungsverhältnis von Teil A : Teil B beträgt 4:1 MT, wobei eine Mischungstoleranz von $\pm 10\%$ möglich ist. Die mechanischen und dielektrischen Eigenschaften entsprechen denen von *Epilox EGK 19.* Bei der Verarbeitung sind auch die gleichen Hinweise zu beachten. Der Härter ist ebenfalls ein insitu-Addukt. Die Härtung kann bei 20 °C in 24 Stunden oder bei 80 °C in 3 Stunden erfolgen. Unter 15 °C erfolgt keine vollständige Durchhärtung.

Zur Anwendung ist zu bemerken, daß es zum Einbetten von Kleinbauteilen, zum Verguß von Bauelementen der verschiedensten Art geeignet ist.

2.1.7. Epasol SP 2

Epasol SP 2 ist ein Spachtelharz. Das Spachteln selbst kann man weder beim Kleben noch Laminieren einordnen. Das Harz ist eine zähe, elfenbeinfarbene Masse. Es wird mit *Härter 3* 100:6 MT und mit *Härter P1* 100:5 MT gemischt. Die Mischung ist cremefarben und ebenfalls sehr dickflüssig bzw. spachtelartig. Die Gebrauchsdauer eines 100-g-Ansatzes beträgt bei 20 °C etwa 25 Minuten. Die Aushärtung erfolgt bei Zimmertemperatur (20 °C) in 16 Stunden, bei 40 °C in 6 und bei 80 °C in 2 Stunden. Unter 15 °C kann *Epasol SP 2* nicht ausgehärtet werden.

Wie bereits angedeutet, kann *Epasol SP 2* zum Ausfüllen von Fugen und Rissen sowie zur Beseitigung von Gußfehlern, Lunkern, Löchern und anderen Material- und insbesondere Oberflächenfehlern benutzt werden. Bei der Beseitigung von Gußfehlern ist zunächst das Werkstück an der betreffenden Stelle gründlich zu entfetten. Es kommt dabei weniger auf eine sehr hohe Sauberkeit als vielmehr auf eine Fettfreiheit der zu spachtelnden Stelle an. Hinweise über das Entfetten sind der im Militärverlag der DDR erschienenen Broschüre „Kleben in der Amateurtechnik“ zu entnehmen. Man sollte die betreffenden Stellen mit sauberem Schmirgelleinen der Sorte 100 leicht aufrauhen. Die zu spachtelnde Stelle kann nun auf etwa 50 °C angewärmt und danach der angerührte Spachtel aufgetragen werden. Nach der normalen Härtung kann man, soweit möglich und notwendig, noch 2 Stunden bei 100 °C nachhärten. Eine mechanische Bearbeitung, auch polieren, des ausgehärteten Spachtels bereitet keine Schwierigkeiten. Die thermische Beständigkeit beträgt etwa 70 °C. In vielen Fällen, wo keine Kräfte auf den Spachtel einwirken, kann auch eine Temperaturbeanspruchung von 90 °C und unter Umständen bis 100 °C erfolgen. Andere Spachtel, auf die aber nicht näher eingegangen wird, sind z. B. *Epasol SP 4*, *SP 11* und *SP 125*. Sie werden alle im VEB *Asol*-Chemie hergestellt.

2.2. Polyesterharze

Alle in der DDR hergestellten ungesättigten Polyesterharze werden vom VEB Kombinat *Chemische Werke* Buna produziert. Nachstehend sind 3 Produkte dieser Palette beschrieben.

2.2.1. Polyester G (neue Bezeichnung UP-AS 2333)

Das Polyesterharz ist aus der Reihe dieser Produkte das bekannteste. Es ist die Lösung eines ungesättigten Polyesterharzes in Styrol. Die Viskosität beträgt 700 bis 1100 cP, d. h., es ist relativ dünnflüssig. Ungesättigte Polyesterharze werden durch Zugabe eines geeigneten Peroxids, das sich meist zu einem bestimmten Prozentsatz in einer inerten Flüssigkeit befindet, heiß gehärtet oder durch Zusetzen eines Peroxids und eines Beschleunigers kalt gehärtet.

Für die Heißhärtung kann man z. B. Benzoylperoxid, Lauroylperoxid und Butylperbenzoat verwenden. Für die Kalthärtung werden Cyclohexanonperoxid sowie Peroxidlösung MPL I und II angeboten. Als Beschleuniger eignet sich eine Lösung von Kobaltnaphthenat der sogenannten Kobaltbeschleuniger. Die Warmhärtung kann man bei einem Zusatz von 2% Benzoylperoxidpaste (50%ig) in 4 Stunden bei 80 °C durchführen. Die Kalthärtung ist die gebräuchlichere Form, die durch einen Zusatz von 2% Kobaltbeschleuniger und 2% Cyclohexanonperoxidpaste (50%ig) in 24 Stunden bewirkt werden kann. Die Eigenschaften des gegossenen Körpers sind durch eine Nachhärtung von 4 Stunden bei 80 °C noch zu verbessern.

Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften eines so hergestellten Prüfkörpers sehen nach [4] wie folgt aus:

Tabelle 2.6

Eigenschaften von Polyester G mit Cyclohexanonperoxid und Kobaltbeschleuniger

Prüfung	TGL	Dimension	Prüfwert
Biegefestigkeit	14 067	kp/cm^2	930
Schlagzähigkeit	14 068	$cmkp/cm^2$	8
Kerbschlagzähigkeit	14 068	$cmkp/cm^2$	4
Druckfestigkeit (Würfel von 10 mm Kantenlänge)	14 069	kp/cm^2	1900
Wärmeformbeständigkeit n. Martens	14 071	°C	45
Linearer Ausdehnungskoeffizient (zwischen 20 °C und 70 °C)	—	1/°C	$11{,}5 \times 10^{-5}$
Wärmeleitzahl	—	kcal/mh°C	0,12
Wasseraufnahme n. 11. Tg. Lager i. Wasser bei 20 °C	0-53 472	%	3,2
Dielektizitätskonstante 50 Hz/800 Hz	200-0006	—	4,5/4,3
n. 24 Std. Wasserlagerung	200-0006	—	6,2/5,3
Dielektrischer Verlustfaktor 50 Hz/800 Hz	200-0006	—	0,032/ 0,025
n. 24 Std. Wasserlagerung	200-0006	—	0,062/ 0,047
Spez. Durchgangswiderstand	0-53 482	$\Omega \times cm$	3×10^{14}
n. 24 Std. Wasserlagerung	0-53 482	$\Omega \times cm$	5×10^{12}

Durchschlagfestigkeit	200-0009	kV/mm	23
n. 24 Std. Wasserlagerung	200-0009	kV/mm	21

Polyester G weist eine Volumenschrumpfung von etwa 8 % auf, die durch die Art der Reaktion bedingt ist. Diese Schrumpfung kann leicht zur Rißbildung in Gießlingen führen, wenn nicht entsprechende Vorkehrungen dagegen getroffen werden. Dazu gehören neben einer langsameren Härtungsreaktion durch geringeren Peroxid- und Beschleunigerzusatz eine niedrige Ausgangstemperatur der Komponenten sowie die Zugabe von Füllstoffen, auf die in Abschnitt 5. noch näher eingegangen wird.

Alle Peroxidpasten muß man vor Gebrauch gut umrühren, da sie stark zum Absetzen neigen. Es ist streng darauf zu achten, daß das Peroxid, auch Katalysator genannt, nie mit dem Beschleuniger in konzentrierter Form in Berührung kommt, weil dabei sofort ein explosionsartiger Zerfall des Peroxids auftreten würde. Zunächst wiegt man das Harz, danach das Peroxid ab und mischt beide Komponenten so lange, bis sich das Peroxid aufgelöst hat. Erst danach wird der Beschleuniger abgewogen und der Mischung zugesetzt. Bei dem nun folgenden Mischen ist eine Explosion ausgeschlossen, da die Peroxidkonzentration im Harz gering ist. Selbstverständlich kann man auch erst den Beschleuniger zusetzen, umrühren und dann das Peroxid zugeben. Ein fertig gemischter Ansatz von etwa 50 g muß bei einem Zusatz von 2 % Cyclohexanonperoxid und 2 % Kobaltbeschleuniger innerhalb 20 bis 30 Minuten (bei 20 °C) verarbeitet werden. Mit steigender Umgebungstemperatur sinkt die Gebrauchsdauer. Die Temperatur steigt nach Angabe des Herstellers [4] während der Polymerisation auf etwa 150 bis 165 °C an. *Polyester G* sollte mit Cyclohexanonperoxid nicht unter +15 °C und nicht über +30 °C verarbeitet werden, weil sonst die Gebrauchsdauer bzw. Härtungszeit zu ungünstige Werte annehmen würde. Nach 24 Stunden ist das Harz fast ausgehärtet. Zur Verbesserung der Eigenschaften sollten die Gießlinge danach 4 Stunden bei

80 bis 90 °C nachgehärtet werden. Es ist darauf zu achten, daß die Gießlinge eine gute Auflage haben. Nach Beendigung dieser Nachhärtung müssen die Werkstücke langsam abkühlen, um nicht zusätzliche Spannungen entstehen zu lassen. Bei Umgebungstemperaturen unter 15 °C bis etwa —5 °C ist es zweckmäßig, den Vanadiumbeschleuniger (Entwicklungsprodukt) zu verwenden. Die zuzusetzende Menge beträgt für Gießharze 1,5 bis 2%. Ansonsten gelten die gleichen Hinweise wie beim Kobaltbeschleuniger.

Polyesterharze haben neben der starken Schrumpfung noch eine Eigenart — die Oberfläche des gehärteten Harzes bleibt oft klebrig. Als Gegenmaßnahme kann der Peroxid- und Beschleunigeranteil auf 3 bis 4% erhöht werden, oder man deckt die der Luft zugekehrte Seite mit einer Folie aus Perfol, Cellophan oder Polyäthylen ab. Es ist möglich, etwa 2 bis 5% einer Wachs-Styrol-Lösung zuzusetzen. Die Herstellung solcher Lösungen ist sehr einfach. Es sind 5 MT Hartwachs in 95 MT Styrol, einer klaren, niedrigviskosen, unangenehm riechenden Flüssigkeit, zu lösen. In der Amateurtechnik können alle drei Verfahren zur Anwendung gelangen. Der erhöhte Beschleuniger- und Peroxidzusatz hat z. B. bei je 3% eine Verkürzung der Gebrauchsdauer auf etwa 10 bis 15 Minuten zur Folge und ist als Gießharz nur noch für sehr kleine Vergüsse bzw. solche mit geringer Schichtdicke geeignet. Die Härtungsdauer ist u. a. stark von der Größe und der geometrischen Form des gegossenen Körpers abhängig. Je größer und kompakter ein Körper ist, desto kürzer wird die Härtungszeit sein.

So, wie es für ungesättigte Polyesterharze Katalysatoren (Initiatoren) wie die beschriebenen Peroxide gibt, gibt es auch eine Reihe von Verbindungen, die als Polymerisationsverzögerer (Inhibitoren) wirken können. Neben Wasser und Feuchtigkeit, die die Eigenschaften des gehärteten Harzes auch noch stark verschlechtern, gibt es aber Produkte, die gezielt angewendet werden können. Zu ihnen gehören neben einigen Metalloxiden auch einige Lösungsmittel, auf die in Abschnitt 3. noch näher eingegangen wird. In diesem Abschnitt sind

ebenfalls Aussagen über geeignete Farb- und Füllstoffe gemacht.

2.2.2. Hobby-Plast

Unter dem Begriff Hobby-Plast ist eine Reihe von Materialien bzw. Hilfsstoffen zu verstehen, die in einer Systempackung dem Amateur und Heimwerker angeboten wird. Es handelt sich hierbei um das in Abschnitt 2.2.1. beschriebene *Polyester G*, das bereits vom Hersteller, dem VEB *Spezialchemie* Leipzig, mit 1 % Kobaltbeschleuniger versetzt wird. Außerdem gehören Cyclohexanonperoxidpaste, eine Wachslösung, Trennmittel, Glasseide und Titandioxid zur Packung. Für die Gießharztechnik können bis auf die Glasseide alle übrigen Bestandteile verwendet werden. Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 2.2.1. gemachten Ausführungen über die Verarbeitung ist bei Hobby-Plast darauf zu achten, daß der Beschleunigerzusatz entweder entfällt oder um 1 % reduziert werden muß. Auf jeden Fall hier, wenn erforderlich, erst den Beschleuniger hinzufügen, unterrühren und dann das Peroxid zugeben.

2.2.3. Polyester GM (neue Bezeichnung UP-AS 2311)

Dieses Polyesterharz ergibt gehärtet relativ weiche Gießlinge. Es ist ebenfalls wie *Polyester G* eine niedrigviskose Lösung eines ungesättigten Polyesters in Styrol. Das Harz dient hauptsächlich zum Flexibilisieren anderer Polyesterharze, mit denen es auch beliebig mischbar ist. Wird es allein als Gießharz verwendet, so kann man damit große Gießlinge ohne Schwierigkeiten herstellen. Die Härtung verläuft ruhiger und weist nicht so hohe Temperaturspitzen auf. Die Härtung kann sowohl heiß mit Benzoylperoxidpaste als auch kalt mit Cyclohexanonperoxid und Kobaltbeschleuniger ähnlich wie *Polyester G* (Abschnitt 2.2.1.) erfolgen. Das Temperaturmaximum beträgt bei der Kalthärtung etwa 90 °C. Die Volumenschrumpfung ist mit 6,6 % relativ niedrig.

Ein Zusatz von *Polyester GM* verringert die Biegefestigkeit, Druckfestigkeit, Kugeldruckhärte, Wärmeform- und Chemikalienbeständigkeit. Er erhöht die Schlagzähigkeit, Wasseraufnahme und verschlechtert alle elektrischen Eigenschaften. *Polyester GM* ist trotz seiner Flexibilität ein Duroplast. Für die Verarbeitung gelten die gleichen Hinweise wie für *Polyester G*.

2.2.4. Polyester GG (neue Bezeichnung UP-AS 2324)

Polyester GG ist wie auch *Polyester G* eine Lösung ungesättigter Polyester in Styrol. Dieses Produkt ist dem *Polyester G* in vielen Eigenschaften ähnlich. *Polyester GG* ist heller, härter, hat einen höheren E-Modul (32000 kp/cm^2 gegenüber 20000 kp/cm^2) und weist erheblich bessere elektrische Werte auf. Es ist bis etwa 58 °C wärmeformbeständig. *Polyester GG* hat eine Wasseraufnahme von 0,15% (*Polyester G* 0,32%). Auf Grund seiner guten Transparenz wird es in der Industrie zur Herstellung von Flachplatten, Wellplatten und Profilen verwendet.
Die Härtung erfolgt in der gleichen Art wie bei *Polyester G*. Für die Kalthärtung steht bei Zusatz von 2% Kobaltbeschleuniger und 2% Cyclohexanonperoxid (50%ig) eine Verarbeitungszeit von 15 bis 20 Minuten zur Verfügung. Nach 24 Stunden, bei Raumtemperatur, kann man auch hier 4 Stunden bei 80 °C nachhärten. Bei der Heißhärtung sollte nicht mehr als 1% Benzoylperoxidpaste (50%ig) zugesetzt werden.

2.2.5. Mökodur

Mökodur ist eigentlich ein Zweikomponentenklebstoff, der aus dem Harz *Mökodur L 5001* (einem ungesättigten Polyester), der den Beschleuniger schon enthält, und dem Härter *Mökodur H 11* (ein Kreide-Peroxid-Gemisch) besteht.
Das Mischungsverhältnis zwischen dem flüssigen Harz und dem pulverförmigen Härter beträgt 1:1 Gewichtsteile. Bei

Raumtemperatur beträgt die Gebrauchsdauer nach Angaben des Herstellers, des VEB Schuhkombinat „Banner des Friedens" Betrieb Mölkau, 15 bis 60 Minuten je nach Temperatur und Menge. Reicht die Gebrauchsdauer nicht aus, so kann der Anteil des pulverförmigen Härters entsprechend reduziert werden. Die Grenze des Mischungsverhältnisses liegt bei 4:1 bis 5:1 Gewichtsteile. Gegenüber den bisher beschriebenen Polyestertypen enthält diese Sorte als Füllstoff je nach Wahl des Härters Quarzmehl bzw. Kreide. Es eignet sich auch als Vergußmasse zum Ausfüllen von Lunkern und Löchern und kann bei Verwendung von *Mökodur H 11* leicht nachbearbeitet werden.

2.3. Acrylatharze

Acrylatharze für gießtechnische Zwecke einzusetzen ist weniger bekannt. Das bei uns vom VEB *Spezialchemie* hergestellte Harz *Kalloplast R* besteht aus zwei Komponenten und enthält als reaktiven Grundstoff monomere Ester der Methacrylsäure, die durch Mischung der Flüssigkeit mit dem Pulver zur Polymerisation angeregt werden.

Das Mischungsverhältnis beträgt 1 g Pulver zu 2 ml Flüssigkeit oder 8 ml Pulver zu 10 ml Flüssigkeit. Nach dem Zusammenschütten beider Komponenten ist etwa 3 Minuten gut zu rühren, bis sich eine klare Flüssigkeit bildet. Die Gebrauchsdauer beträgt bei Raumtemperatur etwa 20 Minuten. Es hat sich für gießtechnische Zwecke sinnvoll erwiesen, den Flüssigkeitsanteil zu erhöhen. Die Härtung selbst dauert bis zur ausreichenden Festigung 2 bis 6 Stunden. Eine Erwärmung beschleunigt zwar den Härtungsvorgang, führt aber leicht zu Blasen im Harz. Diese Blasenbildung kann auch bei Ausätzen über 50 g oder bei solchen mit zu hohem Pulveranteil auftreten.

Mit *Kalloplast R* verunreinigte Geräte lassen sich leicht mit Aceton, Methylenchlorid oder ähnlichen Lösungsmitteln reinigen.

2.4. Silikonkautschukpaste-Cenusil

Kalthärtende Silikonkautschukpasten für gießtechnische Zwecke zu verwenden ist in der Industrie seit vielen Jahren bekannt. Da sie aus mindestens zwei Komponenten bestehen und in der Anwendung für den Amateur kompliziert sind, hat man Einkomponentensysteme entwickelt. *Cenusil* ist eine solche Paste, die vom VEB *Chemiewerke* Nünchritz hergestellt wird.

Cenusil ist eine weiße, pastöse Masse, die an der Luft durch den Einfluß der Feuchtigkeit vulkanisiert. Die Verarbeitung kann von —10 bis +50 °C erfolgen. Da die Vernetzung unmittelbar nach dem Ausdrücken aus der Tube beginnt, ist es erforderlich, ein Glattstreichen oder Korrigieren der Masse, z. B. mit einem feuchten Spachtel, sofort vorzunehmen.

Cenusil härtet zwar durch den Einfluß der Luftfeuchte, trotzdem dürfen zu benetzende Flächen nicht naß sein, da eine Mischung mit Wasser nicht möglich ist. Die in [5] gemachten Angaben über die Durchvulkanisation einer 4 mm dicken Schicht in etwa 24 Stunden trifft nur zu, wenn eine ausreichende Luftfeuchte gewährleistet ist. Bei 25 °C und 25 bis 30% relativer Feuchte (mit Zentralheizung erwärmter Raum) ist eine Durchhärtung eines Prüfkörpers von 4 mm × 10 mm × 50 mm nach 4 Tagen noch nicht erfolgt. Es ist dabei allerdings zu berücksichtigen, daß die Gießform nur eine offene Seite hatte.

Dünne *Cenusil*-Filme härten bei normalen Verhältnisse, d. h. über 60% relativer Feuchte innerhalb 24 Stunden gut durch. Werden kleine Mengen benötigt oder sind enge Spalten auszufüllen, dann empfiehlt es sich, die in der Packung beigefügte

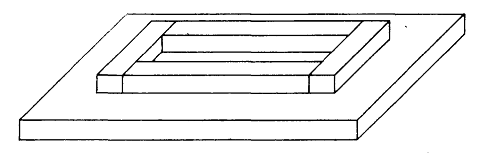


Bild 2.1 Einfache Gießform zur Herstellung von Prüfkörpern

aufschraubbare Düse zu verwenden, bei der allerdings erst die verschlossene Spitze abgeschnitten werden muß.
Der nach der Vulkanisation entstandene Silikonkautschuk verfügt, wie auch in (5) beschrieben, über außerordentlich gute Eigenschaften:

— Die Temperatur bei der Anwendung kann —55 bis +200 °C betragen.
— Das Material weist eine hohe Elastizität auf.
— Das elektrische Isolationsvermögen ist gut.
— Alle Eigenschaften sind nur gering temperaturabhängig im angegebenen Bereich.
— Wie alle Silikongummisorten weist auch *Cenusil* eine sehr gute Alterungs- und Witterungsbeständigkeit auf.
— Gegenüber Wasser hat er abweisende Eigenschaften.
— Es gibt keine gesundheitsschädigenden Nebenwirkungen.
— *Cenusil* ist schwer entflammbar.

Die Anwendung eines solchen Materials ist äußerst vielseitig. Durch die Eigenschaft, auf fast allen Werkstoffen zu haften, lassen sich die meisten Dichtungsprobleme damit beseitigen. So können Sichtscheiben an Meßgeräten, aber auch an Back- und Bratröhren damit abgedichtet werden. An Kraftfahrzeugen lassen sich undichte Stellen, z. B. an der Karosserie, bei Scheinwerfern oder anderen Beleuchtungskörpern, beseitigen. Kabel- oder Rohrdurchführungen können an Geräten, Wänden, Dächern und Fußböden leicht verschlossen werden. Wenn das Material dünn aufgetragen wird, eignet es sich auch zur Konservierung von Schaltungen und Bauelementen. Voraussetzung ist dabei, daß die bei der Reaktion frei werdende Essigsäure nicht stört, d. h. keine korrosiven Erscheinungen hervorruft. Mit etwas Geschick kann *Cenusil* auch im Formenbau verwendet werden. Noch nicht vernetztes *Cenusil* ist leicht mit einem Tuch, Zellstoff oder Toilettenpapier zu entfernen. Unter Umständen ist auch die Benutzung eines Lösungsmittels, z. B. Aceton oder Äthylacetat, erforderlich. Nach der Vernetzung läßt sich die Paste bzw. das Vulkanisat mit einer Drahtbürste entfernen.

3. Modifizierung von Gießharzen

In der Gießharztechnik wird mehr als in der Kleb- und Laminiertechnik der Wunsch bestehen, die Eigenschaften der Harze den Forderungen aus der Anwendung anzupassen. Wie bereits schon bei der Beschreibung der Harze zum Ausdruck gebracht, wird eine Modifizierung insbesondere dann erfolgen, wenn größere Ansätze vergossen werden sollen und man durch Füllstoffe das Harz streckt und die exotherme Reaktion abschwächt, oder wenn man durch einen Zusatz geeigneter Farbstoffe die Harze dekorativ verbessern möchte.

3.1. Füllstoffe

Unter Füllstoffen sollen hier feste, nichtflüchtige, im Harz oder Härter nichtlösliche Stoffe verstanden werden, die man dem Gießharz zugibt. Die Aufgabe der Füllstoffe ist äußerst vielschichtig und reicht vom billigen Streckmittel bis zur gezielten Stimulierung bestimmter Eigenschaften. Füllstoffe erweitern also nicht nur die Anwendungsgrenzen der Gießharze, sondern haben auch ökonomische Funktionen, nämlich die teilweise recht teuren Ausgangsprodukte billiger zu gestalten. Inwieweit dabei selbst Füllstoffe zu Harzen zugemischt werden oder bereits mit Füllstoffen angereicherte Produkte Verwendung finden, bleibt jedem selbst überlassen. Für den Amateur ist es immer günstig, vorgefertigte und aufbereitete Erzeugnisse einzusetzen, da die eigenen Möglichkeiten doch oft recht beschränkt sind. In diesem Abschnitt sollen trotzdem einige Ausführungen zu dem Thema Füllstoffe gemacht werden.

Je nach Anwendung eines Gießharzes und den damit verbundenen Anforderungen sowie der Art des Harzes und den zur Härtung erforderlichen Zusätzen ist über die Art des Füllstoffs zu entscheiden. Grundsätzlich ist noch zu bemerken, daß

Füllstoffe dem Harz nur solche Eigenschaften vermitteln können, die sie auch selbst haben.

3.1.1. Verbesserung der mechanischen Eigenschaften

Durch den Zusatz von Füllstoffen werden die meisten mechanischen Eigenschaften, z. B. Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Schlagzähigkeit, Biegefestigkeit usw., verändert.
Die Zugfestigkeit wird durch Talkum verbessert. Asbest- und Glimmermehl haben zwar eine noch günstigere Wirkung, sind aber recht schwer zu beschaffen. Für viele Füllstoffe, und dazu gehört auch Talkum, gilt diese positive Wirkung nur, wenn eine gute Benetzung der Füllstoffpartikel erfolgt ist. Dünnflüssige Harze sind für solche Zwecke besser geeignet als dickflüssige. Letztere sollten vor dem Zumischen auf 50 bis 80 °C erwärmt werden. Talkum hat einen basischen Charakter und ist damit zwar für Epoxidharze, aber weniger für Polyesterharze geeignet. In Abmischung mit Kaolin, das saure Eigenschaften hat, ist es auch für Polyester gut einsetzbar.

Folgende Ansätze lassen sich gut verarbeiten:

100 MT	Epilox EGK 19	100 MT	Polyester GG
11 MT	Härter 3	2 MT	Cyclohexanonperoxid
40 MT	Talkum oder	1 MT	Kobaltbeschleuniger
		20 MT	Talkum
		20 MT	Kaolin

Durch einen Zusatz von 100 bis 300% Quarzmehl, Sand oder Metallpulver läßt sich die Druckfestigkeit erhöhen. Das Quarzmehl sollte jedoch von amorpher Struktur sein, da sich sonst die elektrischen Eigenschaften der Harze bei Feuchtigkeitseinwirkung zu stark verschlechtern. Besonders Quarzmehl und Quarzsand führen zu sehr harten und spröden Gießlingen. Diese Sprödigkeit ist oft von Nachteil. Sie läßt sich durch Mischungen von Quarzmehl oder Sand mit Talkum beseitigen. Als Metallpulver haben sich Eisen- und Aluminiumpulver bewährt. Dabei sind auch gröbere Formen, sogenannte Grieße, sehr gut anwendbar.

Die Schlagzähigkeit und die Verminderung der Rißbildung lassen sich besonders durch fasrige Zusätze verbessern. Leider können solche Erzeugnisse in der Amateurtechnik nur schwer angewendet werden. Neben Glasfasern gehört auch Glimmer- und Asbestmehl in allen Arten dazu. Je nach Abhängigkeit von der Glasfaserlänge und Art des Harzes kann folgende Mischung empfohlen werden:

100 MT Epilox EGK 19
11 MT Härter 3
5 MT Füllstoff K 60
5—15 MT Glasfasern.

Zu den Glasfasern ist zu bemerken, daß sich kurze Faserlängen, also etwa 1 bis 2 mm, besser als längere Fasern von etwa 5 bis 8 mm verarbeiten lassen, obwohl z. B. die Schlagzähigkeit bei langen Fasern besser ist.
Beim Einsatz von Asbestmehl ist dessen stark viskositätserhöhende Wirkung zu berücksichtigen, so daß im allgemeinen ein Ansatz nicht mehr als 15 bis 25% aufnehmen kann. Bei Füllstoffen dieser Art ist es zweckmäßig, das Harz vorzuwärmen, so daß sich folgender technischer Ablauf ergibt:

— vorwärmen und trocknen der Füllstoffe;
— abwiegen der Bestandteile (Harz, Härter, Füllstoffe);
— vorwärmen des Harzes auf 50 bis 70 °C;
— einrühren der Füllstoffe;
— abkühlen der Mischung auf etwa 30 °C;
— Zugabe der Härtermenge.

Bei 30 °C wird die Gebrauchsdauer der meisten Mischungen erheblich kürzer! Auf das Vorwärmen der Füllstoffe ist zu achten, da kalte Stoffe in warmer Umgebung sofort Luftfeuchtigkeit aufnehmen (Taupunktunterschreitung) und besonders die dielektrischen Werte der damit hergestellten Harze negativ beeinflußt werden.
Die Schlagzähigkeit und die Spannungsrißkorrosion lassen sich durch Flexibilisierungsmittel etwas verbessern.
Bei der Verwendung von verschiedenen Füllstoffen mit unterschiedlicher Dichte besteht die Gefahr, daß der Ansatz ent-

mischt wird. Am einfachsten begegnet man solchen Erscheinungen dadurch, daß man thixotropierende Mittel, z. B. Kieselsäurefüllstoff *K 60 S* oder *Suprasil*, zugibt. Es handelt sich dabei um Stoffe von außerordentlicher Feinheit, die dazu in der Lage sind, durch Wasserstoffbrücken lose Bindungen herzustellen. Durch Erschütterungen werden diese Bindungen leicht zerstört, in der Ruhe bilden sie sich erneut wieder aus. Eine optimale Wirkung setzt ein neutrales Medium und eine gute Dispergierung voraus.

Mischungen mit thixotropen Eigenschaften werden z. B. auch für Tauchumhüllungen verwendet, weil durch den Zusatz von Thixotropierungsmitteln der Überzug dicker und gleichmäßiger wird.

3.1.2. Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit

Um die Wärmeleitfähigkeit zu erhöhen, setzt man den Harzen im allgemeinen Metallpulver (100 bis 500%) und/oder Graphit (10 bis 100%) zu. Die möglichen Zusätze richten sich stark nach der Korngröße und bei den Metallen nach der Dichte. Allgemein steigt mit dem Prozentsatz der genannten Füllstoffe auch die Wärmeleitfähigkeit. Die Verarbeitung wird durch die sich erhöhende Viskosität erschwert. Durch die Verwendung gröberer Füllstoffe mit körnigerer Struktur läßt sich trotzdem noch eine vernünftige Verarbeitung erreichen. So läßt sich z. B. ein Gemisch aus

100 MT Epilox EGK 19,
11 MT Härter 3 und
300 MT Aluminiumgrieß vom Durchmesser 1 mm

für gröbere Vergüsse sehr gut verarbeiten. An Stelle des Epoxidharzes kann auch *Polyester GG* oder ein anderes Harz verwendet werden. Prinzipiell sind auch andere Füllstoffe zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit verwendbar. Man muß nur darauf achten, daß sie selbst eine möglichst gute Wärmeleitung haben und körnig sind.

3.1.3. Verbesserung der Wärmebeständigkeit

Eine Erhöhung der Wärmebeständigkeit, die oft die Anwendungsgrenzen eines Harzes oder auch allgemein eines Plastwerkstoffs erheblich erweitern würde, läßt sich sehr schwer und durch Füllstoffe nur in sehr geringem Maße erreichen. Außer Quarzmehl eignen sich auch prinzipiell Kaolin, Glimmer, Talkum und Asbestmehl dafür. Man wird diese Produkte jedoch für Gießharze in größeren Mengen kaum einsetzen können, da sie eine zu stark ausgeprägte viskositätserhöhende Wirkung haben. Bei einem Zusatz von 400% Quarzmehl zu einem kalthärtenden Harz steigt die Wärmeformbeständigkeit nach *Martens* um 5 bis 8 °C an.

3.1.4. Verbesserung des Abriebverhaltens

Durch den Zusatz von Molybdändisulfid oder Graphit können den Harzen gewisse Gleiteigenschaften vermittelt werden. Diese Zusätze sind sowohl bei kalt- als auch bei heißhärtenden Harzen möglich. Es hat sich dabei als zweckmäßig herausgestellt, neben Molybdändisulfid auch noch eine geringe Menge sehr feines Metallpulver, z. B. Eisenpulver, dazuzugeben. Folgende Rezepturen haben sich dabei bewährt:

100 MT	Epilox EGK 19	100 MT	Polyester G
11 MT	Härter 3	2 MT	Cyclohexanonperoxid
100 MT	Molybdändisulfid	1 MT	Kobaltbeschleuniger
10 MT	Eisenpulver oder	50 MT	Graphit
		5 MT	Eisenpulver

Bei der Verwendung von Molybdändisulfid ist zu beachten, daß dieses Material ölfrei und sehr feinpulvrig ist. Ungünstig macht sich für die Verarbeitung eine starke Verkürzung der Gebrauchsdauer bemerkbar. Der vorher beschriebene Ansatz mit *Epilox EGK 19* fängt nach etwa 10 Minuten spontan an zu reagieren (Raumtemperatur 25 °C) und wird damit unbrauchbar. Für die Anwendung ergeben sich gewisse Ein-

schränkungen. Man sollte den Ansatz aus gekühlten Rohstoffen ansetzen und ihn nach dem Mischen im Wasserbad stehenlassen. Es können nur Gießlinge hergestellt werden, die keine großen Materialkonzentrationen aufweisen, oder man muß für eine geeignete Kühlung sorgen bzw. in Etappen gießen. Es wird also eine Schicht von geringer Stärke gegossen, danach abkühlen lassen und die nächste Schicht auftragen. Für aufzubringende Schichten gilt im Prinzip das gleiche. Etwas einfacher ist die Handhabung beim Graphit. Bei dem vorher beschriebenen Ansatz sollte wenigstens die Hälfte der zugesetzten Menge eine Korngröße über 50 μm haben, da sonst eine zu starke Erhöhung der Viskosität auftritt.

3.1.5. Die Wirkung der Füllstoffe auf die elektrischen Eigenschaften

Wie aus den vorangegangenen Betrachtungen hervorgeht, ist der Einfluß von Füllstoffen auf die mechanischen Eigenschaften z. T. erheblich. Die Wirkung auf die elektrischen Eigenschaften ist wesentlich schwächer ausgeprägt. Dem Amateur wird es kaum möglich sein, die Eigenschaften zu verbessern. Eine Ausnahme bildet die Erhöhung der Leitfähigkeit, die durch Zusätze von Metallpulvern wie Kupfer-, Aluminium- und Nickelpulver oder Graphit möglich ist. Die Grenze der Füllstoffkonzentration wird durch die späteren Verarbeitungseigenschaften bestimmt. Man muß also einen möglichst hohen Anteil Füllstoffe einsetzen, um brauchbare Ergebnisse zu erhalten. Die Leitfähigkeit solcher Mischungen wird durch den Kontakt einzelner Teilchen miteinander hervorgerufen. Je nach Anzahl solcher „Brücken“ und dem Übergangswiderstand von Teilchen zu Teilchen können Mischungen sehr unterschiedlich aufgebaut sein. Einen erheblichen Einfluß auf die Zahl der Kontaktstellen hat dabei die Korngröße bzw. Korngrößenverteilung. Ein Graphit, der für derartige Anwendungen in der Literatur [6] beschrieben wird, weist folgende Korngrößen auf:

Teilchengröße in μm	%-Anteil
>110	0,9
76	2,5
50	17,7
<50	78,9

Für Graphitzusätze über 50% sollte der Anteil grober Teilchen höher sein.

Folgender Ansatz hat sich bewährt:

100 MT Polyester
75 MT Styrol
125 MT Graphit
2 MT Cyclohexanonperoxid
2 MT Kobaltbeschleuniger.

Der spezifische Widerstand einer solchen Mischung liegt bei etwa 5 bis 10 $\Omega \times$ cm. Bis zu einem Graphitzusatz von etwa 40 bis 50% fällt der spezifische Widerstand stark ab, danach ist aber eine weitere Verbesserung der Leitfähigkeit sehr aufwendig.

Von den Metallpulvern wird Aluminiumpulver auf Grund seiner geringen Dichte bevorzugt. Kupfer- und Nickelpulver setzen sich leicht ab.

Tabelle 3.1
Übersicht über die wichtigsten Füllstoffe

	Dichte (g/cm³)	Korngröße (mm)	Farbe	Einfluß auf die Verarb. und Anwendung
Aluminiumpulver	2,6		silbrig	4, 15, 16, 20
Aluminiumgrieß	2,6	1,0	silbrig	3, 4, 9, 11, 20
Aluminiumoxid	4,0		weiß	9, 11, 13
Asbestmehl	2,1–2,8		braungrau	1, 7, 12

Blanc fixe	4,48		weiß	9
Eisenpulver	7,9	0,06	grau	3, 5, 11, 13, 14, 15, 16, 20
Füllstoff K 60			weiß	1, 2, 10
Glasfasern	2,4–2,6	Länge 1–2	weiß	1, 5
Glimmer	2,65–3,2	0,1	grau	1, 2, 12, 14,16
Graphit	1,9–2,23	verschieden	schwarz	4, 7, 16, 20
Holzmehl	0,35–1,03			1, 4, 7
Kaolin	2,1–2,6	0,1	weiß bis gelblich	5, 7, 10, 15, 19
Kreide	1,8–2,7	0,1	weiß bis gelblich	4, 7, 13, 15, 18
Molybdändisulfid	4,62–4,73	verschieden	grau	1, 4, 8, 11, 16
Quarzmehl	2,65	0,06	weiß	3, 5, 9, 11, 17
Quarzsand	2,65	1,0	hell	3, 5, 7, 9, 11
Schiefermehl	2,5–2,7	0,6	gelbgrau schwarz	5, 8, 13, 15
Schwerspat	4,25–4,48			3, 9, 11, 13,15
Talkum	2,7–2,8	0,5	weiß	2, 4, 7, 10, 12
Titandioxid	4,2–4,3		weiß	5, 7
Zement	3,1–3,2		grau	7, 11, 15

Bezugsnummern zum Einfluß auf die Verarbeitung und Anwendung:

1 starke Erhöhung der Viskosität
2 schwer mischbar
3 besonders schwache Erhöhung der Viskosität
4 gute mechanische Bearbeitbarkeit
5 schlechte mechanische Bearbeitbarkeit
6 beschleunigt kalthärtende Polyester (mit Cyclohexanonperoxid)
7 verzögert kalthärtende Polyester
8 beschleunigt kalthärtende Epoxidharze (mit Härter 3)
9 verzögert kalthärtende Epoxidharze
10 wirkt thixotrop
11 neigt stark zur Sedimentation
12 verhindert Rißbildung
13 verbessert Druckfestigkeit
14 erhöht Schlagbiegefestigkeit
15 erhöht Härte

16 verbessert Gleitverhalten
17 reduziert dielektrischen Verlustfaktor
18 erhöht Dielektrizitätskonstante
19 verbessert Kriechstromfestigkeit
20 erhöht elektrische Leitfähigkeit

3.1.6. Zusammenfassung

Zwecks besserer Übersicht wurden in der Tabelle 3.1 die wichtigsten Füllstoffe mit ihren Auswirkungen auf Harze und Harzsysteme erwähnt.

3.2. Farbstoffe

Wie bereits in der Broschüre „Kleben in der Amateurtechnik“ in Abschnitt 5.3. zum Ausdruck gebracht wurde, haben Farbstoffe mit Ausnahme vom Ruß hauptsächlich dekorative Aufgaben. In der Broschüre „Laminieren in der Amateurtechnik“ wird ausführlicher darauf eingegangen. Da die Wirkung von Farbstoffen auf die mechanischen und dielektrischen Eigenschaften sehr unterschiedlich sein kann, empfiehlt es sich, bei höheren Ansprüchen vor der Anwendung eine Eignungsprüfung durchzuführen. Wenn überhaupt, werden Harze transparent eingefärbt, um die vorhandenen Einbauten nach dem Gießen noch erkennen zu können. Außerdem sind Fehler wie Luftblasen, Risse oder überhitzte Stellen (durch eine andere Färbung dieser Zone) leicht feststellbar. Folgende Farbstoffe sind für transparente bzw. lasierende Einfärbungen geeignet:

Farbstoff/ *Nerchauer* Polyester-Einfärbepaste	Farbton	Zusatz (%)
Nr. 02	gelb	0,2
Nr. 04	rot	0,2
Nr. 06	blau	0,2
Nr. 08	grün	0,2

Die übrigen *Nerchauer* Pasten ergeben deckende Farbtöne. Darüber hinaus können die meisten Pigmentfarbstoffe verwendet werden, von denen einige nachstehend aufgeführt sind.

Farbstoff	Farbton	Zusatz (%)
Berliner Blau	dunkelblau	2—4
Ultramarineblau	blau	
Eisenoxidrot	rotbraun	
Eisenoxidgelb	ockergelb	
Chromgelb	gelb	
Chromorange	rotorange	
Chromgrün	grün	
Titandioxid	weiß	2—10

Grundsätzlich sollte der Farbstoff mit einer kleinen Menge Harz angerührt und dann dem übrigen Harz zugesetzt werden.

3.3. Verdünnungsmittel

Grundsätzlich verarbeitet man Gießharze möglichst in der Form, wie sie vom Hersteller produziert werden. Wenn schon mit Verdünnungsmitteln gearbeitet werden muß, sollten es möglichst solche sein, die während der Härtung an der chemischen Reaktion teilnehmen. Fast alle anderen Verdünnungsmittel wandern nach einer gewissen Zeit, insbesondere wenn höhere Temperaturen einwirken, aus dem Gießling aus.

3.3.1. Epoxidharze

Zur Verdünnung von Epoxidharzen eignet sich vorzugsweise Glycidäther. Vom VEB Leuna-Werke *Walter Ulbricht* wird dazu Isobutylglycidäther angeboten, der allerdings nur Arbeitsgemeinschaften in Betrieben zur Verfügung steht. Die Anwendung wird dadurch kompliziert, daß wie bei allen reaktionsfähigen Zusätzen der Härteranteil um einen bestimmten

Betrag erhöht werden muß. Für 100 g Isobutylglycidäther sind 22,5 g *Härter 3* mehr zu verwenden oder 100 g *Härter 8*. Diese Menge errechnet sich aus den stöchiometrischen Verhältnissen, worüber in der Fachliteratur genauer nachgelesen werden kann [11].

Gebräuchlicher ist der Einsatz von Dibutylphthalat und Dioctylphthalat. Beide Produkte sind höhermolekulare Ester, die nicht mit den Harzen reagieren und neben der Viskositätserniedrigung eine flexibilisierende Wirkung haben. Der Nachteil dieser Ester besteht darin, daß sie insbesondere bei höherer Temperatur zum „Ausschwitzen“ neigen.

Durch den Einsatz von Isobutylglycidäther und noch stärker bei der Verwendung von Phthalsäureestern werden sowohl die mechanischen als auch die dielektrischen Eigenschaften negativ beeinflußt. Wie bereits angedeutet, werden die gehärteten Harze flexibler, womit ein Abfall der Werte einiger Eigenschaften wie der Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, des Elastizitätsmoduls, der Wärmeformbeständigkeit, Durchschlagfestigkeit und des spezifischen Durchgangswiderstandes, aber auch ein Anstieg der Wasseraufnahme verbunden ist. Aus dem Grund können reaktive Verdünnungsmittel bis max. 20% und nichtreaktive Verdünnungsmittel bis max. 15% eingesetzt werden.

Bei Zusatz von Verdünnungsmitteln wird die ablaufende Polyadditionsreaktion verzögert, wodurch eine Verlängerung der Gebrauchsdauer und der Härtungszeit eintritt, die aber bei Gießharzen nicht weiter berücksichtigt werden muß.

3.3.2. Polyesterharze

Bei den Polyesterharzen wird kaum eine Verdünnung erforderlich sein, da ihre Viskosität vom Hersteller bereits relativ niedrig gehalten ist. Durch Zugabe von Styrol kann man die Viskosität in Sonderfällen herabsetzen. Dabei werden die Harze jedoch spröder.

Andere Lösungsmittel haben u. a. folgende Nebenwirkung:

Alkohole	wie Äthanol, Methanol	verzögernd
Ketone	wie Aceton	verzögernd
Ester	wie Äthylacetat	verzögernd
chlorierte Kohlenwasserstoffe wie Tri und Tetra		verzögernd
aromatische Kohlenwasserstoffe wie Benzol und Toluol		leicht verzögernd

Weitere Einzelheiten können in der einschlägigen Fachliteratur [7, 8] nachgelesen werden.

Einige dieser Lösungsmittel sind stark gesundheitsschädigend und/oder leicht brennbar, so daß der Umgang mit ihnen besondere Vorsicht erfordert.

4. Kriterien zur Gießharzauswahl

Bevor ein Bauelement elektrischer oder mechanischer Art vergossen wird, muß man sich darüber im klaren sein, welche Aufgabe das Harz dabei erfüllen soll. Dementsprechend sind sowohl vom ungehärteten als auch vom später gehärteten Harz bestimmte Forderungen zu erfüllen. In der nachstehenden Übersicht werden die spezifischen Eigenschaften und sonstigen Kriterien der Harze noch einmal verbal gegenübergestellt, um so die Auswahl zu erleichtern.

Tabelle 4.1
Kriterien zur Wahl des Gießharzes

	Epoxidharz	ungesättigter Polyester	Acrylatharz
im Kleinhandel erhältlich	teilweise	teilweise	nein
Preis	hoch	niedrig	hoch
gesundheitsschädigend	stark	mäßig	mäßig
allgemeine Handhabung	kompliziert	etwas einfacher	einfacher
Härtezeiten	länger	kürzer	kürzer
Viskosität der Grundharze	höher	niedriger	höher
Einarbeitung von Füllstoffen	gut möglich	möglich	bedingt möglich
Schrumpfung	sehr gering	stark	sehr stark
gehärtete Oberfläche	trocken	durch bes. Zusätze fast trocken	trocken
Haftfestigkeit zu anderen Werkstoffen	sehr gut	unterschiedlich	gut

Beständigkeit gegen alkalische Medien	gut	unbeständig	gut
Beständigkeit gegen saure Medien	gering	genügend	genügend
thermische Beständigkeit	gut bis sehr gut	gut	gut
Entformung	schwierig	relativ leicht	relativ leicht
Elektrische Eigenschaften	sehr gut	gut	sehr gut
Maßhaltigkeit der Gießlinge	gut bis sehr gut	gering	gering
Festigkeit bei statischer und dynamischer Beanspruchung	sehr gut	gut	genügend

Die in der Übersicht dargestellten Eigenschaften lassen sich durch den Zusatz von Füllstoffen und Modifizierungsmitteln entscheidend abändern. Die Übersicht geht nur von den reinen bzw. vom Hersteller fertig hergestellten Erzeugnissen aus. Bei der Auswahl sollten nicht nur technische Parameter, sondern auch die Beschaffbarkeit, die Gesundheitsgefährdung bzw. der erforderliche Arbeitsschutz und ökonomische Gesichtspunkte in die Überlegung einbezogen werden.

5. Konstruktionshinweise zum Formteil und Prinzipielles zum Formenbau

Ähnlich wie bei den klassischen Werkstoffen gibt es auch für Plastwerkstoffe bestimmte Konstruktionsregeln, die die typischen Eigenschaften berücksichtigen. Auch die zur Herstellung der Plastformteile bzw. Gießlinge erforderlichen Werkzeuge müssen auf die Technologie und den Werkstoff eingehen.

5.1. Gestaltung zu gießender Formteile

Die einfachsten Formteile sind Platten, Würfel, Zylinder u. ä. ohne jede Unebenheit. In der Praxis werden meist recht komplizierte Teile benötigt, die sich nur mit entsprechenden technischen Hilfsmitteln herstellen lassen.

Einfache Formgebung wählt man im allgemeinen beim Einbetten von Bauelementen. Es kommt hier insbesondere darauf an, eingebettete Teile gegen schädigende Einflüsse der Umgebung zu schützen, also mit einer starken Schicht zu umgeben. Wenn sich das Bauteil für den Verguß schlecht aufhängen läßt, kann man auch in zwei Schichten gießen. Auf die erste schon teilweise gehärtete Schicht wird das Bauteil gestellt und mit einem zweiten Guß eingebettet. Bei Epoxidharzen kann die erste Schicht ausgehärtet, bei Polyesterharzen darf sie nur angehärtet sein, da sonst keine ausreichende Verbindung der beiden Güsse entsteht.

Beim Umhüllen, Ausgießen und Imprägnieren entfallen besondere konstruktive Hinweise. Man benötigt keine Werkzeuge, aber Vorrichtungen zur Erleichterung der Arbeit. Am kompliziertesten ist es, Gießlinge herzustellen, die eine bestimmte mechanische Aufgabe erfüllen müssen und entsprechend den konstruktiven Gegebenheiten eine komplizierte Gestalt aufweisen.

5.1.1. Allgemeine Hinweise

Je nach Art und Größe der Beanspruchung ist das Harz und, wenn zweckmäßig, Füllstoff, Verdünnungsmittel u. a. auszuwählen. Da die Eigenschaften der Harze stark variieren können, gibt es auch in der Konstruktion viele Besonderheiten. Spezielle Hinweise können der Fachliteratur [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] entnommen werden.
Trotzdem gibt es einige Punkte, die allgemein Gültigkeit haben und näher betrachtet werden sollen. Grundlage für diese Hinweise bildet die TGL 17 448 Blatt 4, 6, 7, 8, 9 und 10.

Für jedes Formteil gilt:

- Massenanhäufungen zu vermeiden oder die Anhäufungen nur so groß wählen, wie es die Technologie des verwendeten Harzes erlaubt (Erwärmung, Schrumpfung);
- die Gestaltung möglichst einfach zu halten und vor allem Hinterschneidungen und möglichst auch Löcher und Schlitze zu vermeiden;
- keine scharfen Ecken oder Kanten zu bilden, da die Harze eine unterschiedliche Spannungsrißkorrosionsempfindlichkeit aufweisen, die dadurch erhöht wird.

5.1.2. Neigungen

Um Teile aus dem Werkzeug einfach entformen zu können, sind Neigungen in Öffnungsrichtung des Werkzeugs und Ausdrückrichtung des Formteils erforderlich. Durch die Klebwirkung und das Schrumpfverhalten der Harze wird sonst eine Entformung schwierig und manchmal fast unmöglich. Das gilt insbesondere für größere unregelmäßige Flächen. Aber auch Aussparungen, Durchbrüche, Löcher und Schlitze sollten zur leichteren Entformung Aushebeschrägen erhalten. In Anlehnung an die TGL 17 448 Blatt 4 werden folgende in Tabelle 5.1 dargestellte Mindestneigungen empfohlen:

Tabelle 5.1
Mindestneigungen bei gegossenen Formteilen

		Mindest-neigungswinkel
	Außenfläche	30′ bis 1° (je nach Harz)
	Innenfläche	30′ bis 1°
	Löcher	15′ bis 30′
	Rippen, Sicken u. a.	2° bis 10°

Bei der Gestaltung ist die Schrumpfung des ausgewählten Harzes zu berücksichtigen. Je höher diese ist, desto größer müssen die Neigungswinkel der in der Schrumpfrichtung liegenden Flächen sein.

5.1.3. Hinterschneidungen

Grundsätzlich sollte man alle Arten von Hinterschneidungen vermeiden. Vielfach können sie durch entsprechend zu gestaltende Formteile umgangen werden. Einige Hinweise dazu gibt ebenfalls die TGL 17 448 Blatt 4. Ist eine Hinterschneidung nicht vermeidbar, dann wird es dem Amateur in den meisten Fällen nicht gelingen, dieses Teil durch Gießprozesse herzustellen. Werden nur ein oder zwei Exemplare benötigt, so ist es oft einfacher, durch spanende Formgebung das Teil aus einem Halbzeug herzustellen.

5.1.4. Abrundungen

Wie bereits in Abschnitt 5.1.1. angedeutet, sind bei allen Plastformteilen scharfe Ecken oder Kanten zu vermeiden. Bild 5.1 zeigt, daß durch Abrundungen die Gefahr der Lunkerbildung besonders bei etwas dickflüssigeren Harzen herabgesetzt wird.

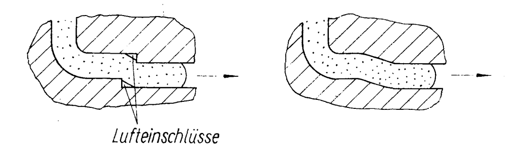


Bild 5.1 Umgehen von Lufteinschlüssen durch Vermeidung scharfer Kanten und Ecken

Weiterhin werden die Spannungen im Formteil verringert, die Kerbschlagempfindlichkeit und Spannungsspitzen an Ecken und Kanten mechanisch belasteter Teile herabgesetzt. Durch die bessere Kraftüertragung kann man eine Erhöhung der Formbeständigkeit kappenförmiger Formteile erreichen.

Die zu wählenden Radien sind abhängig vom Werkstoff und von der geometrischen Lage der Kante oder Ecke. In der Tabelle 5.2 werden die wichtigsten Mindestradien für Epoxid- und Polyesterharze angegeben.

Tabelle 5.2
Mindestradien für Epoxid- und Polyesterharzgießlinge

	Mindestradius in mm
Innenkanten, die in Ecken auslaufen	1,0
Innenkanten, die nicht in Ecken auslaufen	0,6
Außenkanten und Ecken	1,0 bis 2,0 je nach Harz

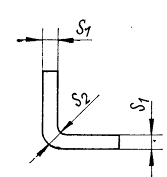


Bild 5.2
Dickenverhältnis zwischen Wand und Knickstelle

Allgemein gilt: Je spröder ein Werkstoff ist, um so größer müssen die Radien an Ecken und Kanten sein. Bei Augen und Rippen gelten andere Maßstäbe, auf die später noch eingegangen wird.
Für Formteile, die mechanisch beansprucht werden, gelten nach *TGL 17 448* Blatt 4 zur Vermeidung von Spannungsspitzen bei Innenkanten folgende optimale Verhältnisse: $R = 0{,}6 \times s$ (R = Radius, s = Wandstärke). Bei einem angenommenen Formteil mit einer belasteten Wand der Dicke $s = 3$ mm soll der Innenradius $0{,}6 \times 3$, also 1,8 mm betragen. Bei abgerundeten Kanten an Winkeln und Ecken ist es besser, ebenfalls eine Verstärkung der Wanddicke im Knick vorzunehmen, wie in der vorher zitierten *TGL 17 448* erwähnt und in Bild 5.2 dargestellt. Für Wanddicken zwischen 2 mm und 4 mm gilt: $s_2 = s_1 + 1$ mm. Die Ecke ist also 1 mm stärker als die beiden Schenkel.
Ansonsten sollten die Wandstärken eines Gießlings möglichst gleich sein, um eine gleichmäßige Härtung zu gewährleisten und innere Spannungen, Lunker und abnorme Maßungenauigkeiten zu vermeiden.

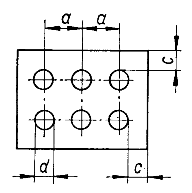
5.1.5. Löcher, Schlitze, Durchbrüche und Aussparungen

Da in der Amateurtechnik die Ausrüstung und Ausstattung zur Werkzeugherstellung doch gewissen Beschränkungen unterliegt, sollten Löcher, Schlitze, Durchbrüche und Aussparungen mechanisch in Halbzeuge eingearbeitet werden. Das gilt besonders für Durchgangs- und Sacklöcher, die sich bei sinnvoller Harzauswahl, d. h. nicht zu spröde und keine abrasiven Füllstoffe, auch ohne Schwierigkeiten einbringen lassen.

Die Löcher selbst sollten einen ausreichenden Abstand vom Rand aufweisen. In der Tabelle 5.3 werden die Richtwerte der *TGL 17 448* wiedergegeben. Die Rand- und Lochmittenabstände sind hier als Mindestwerte zu verstehen.

Aus der Tabelle 5.3 folgt, daß der Lochdurchmesser größer als der Randabstand sein muß. Werden Schrauben eingezogen, dann sind Zylinderschrauben den Senkschrauben vorzuziehen.

Tabelle 5.3
Richtwerte für Lochmitten- und Randabstände



d	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
a	3,2	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	9,0	11,0	14,0	16,0
c	1,6	1,6	2,0	2,5	2,5	3,2	3,2	4,0	5,0	5,5

Auch Schlitze und Durchbrüche sind möglichst spangebend nachzuarbeiten. Sollte trotzdem der Wunsch bestehen, solche geometrischen Formen abzugießen, sind die in der *TGL 17 448* gegebenen Hinweise zu beachten. Tiefe Löcher, d. h. solche, bei denen die Tiefe etwa dem drei- bis fünffachen Durchmesser (je nach Härte des gehärteten Harzes) entspricht, sollten abgesetzt werden. Weitere Einzelheiten sind der speziellen Literatur [8], [15] zu entnehmen.

5.1.6. Einbetten von Metallteilen

Die Einbettung von Metallteilen kann aus zwei Gründen erfolgen:

a) als Befestigungselement zur Kraftübertragung, z. B. Muttern, Schrauben, Bolzen;
b) zum Schutz gegen starke mechanische Beanspruchung an besonders gefährdeten Stellen, wie sie bei Werkzeugen auftreten können.

Beide Beweggründe erfordern praktische Erfahrung. Da der Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen Metallen und den hier beschriebenen Harzen sehr unterschiedlich ist, wie Tabelle 5.4 ausweist, dürfen die Harze nicht zu spröde sein. Die Wandstärken müssen auf Grund des Schwundes ausreichend gewählt werden, damit keine Risse auftreten können und eingelegte Verstärkungen sich bei thermischer Beanspruchung nicht lösen.

Tabelle 5.4
Lineare Ausdehnungskoeffizienten einiger Werkstoffe

kalthärtende Epoxidharze	$(8{,}0-10{,}0) \times 10^{-5}$ grd^{-1}
heißhärtende Epoxidharze	$(5{,}0-\ 7{,}0) \times 10^{-5}$ grd^{-1}
kalthärtende Polyesterharze	$(8{,}0-10{,}0) \times 10^{-5}$ grd^{-1}
heißhärtende Polyesterharze	$(10{,}0-15{,}0) \times 10^{-5}$ grd^{-1}
Polyacrylate	$(7{,}0-\ 8{,}0) \times 10^{-5}$ grd^{-1}
Aluminium	$(2{,}3-\ 2{,}4) \times 10^{-5}$ grd^{-1}
Stahl	$(1{,}0-\ 1{,}6) \times 10^{-5}$ grd^{-1}
Kupfer	$1{,}4 \times 10^{-5}$ grd^{-1}
Messing	$1{,}8 \times 10^{-5}$ grd^{-1}

Weitere Werte können der einschlägigen Fachliteratur [8, 16, 17] entnommen werden.

Allgemein gilt für Befestigungselemente, daß sie dicht eingebettet sein sollen, damit der Plastwerkstoff die durch Temperaturschwankungen und die durch Krafteinleitung entstehenden Spannungen aufnehmen kann. Daraus folgt, daß

sich Metallteile nicht zu dicht am Rand oder zu nahe an der Oberfläche befinden dürfen. Zur besseren Halterung sollten die Teile eine grobe Struktur (z. B. Vierkant) aufweisen. An hochbeanspruchten Stellen kann es erforderlich sein, bei Gießlingen eine Verstärkung besonders an Ecken und Kanten anzubringen. Im Prinzip gelten hier ähnliche Gesichtspunkte wie bei den Befestigungselementen. Neben den Spannungen, die durch unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten entstehen, sollte das Harz zum Metall ein gutes Haftvermögen aufweisen, um die eventuell auftretenden Zug-, Scher-, Druck- oder sonstigen Kräfte gleichmäßiger übertragen zu können. Die Differenz der Ausdehnungskoeffizienten zwischen Harz und Metall sollte so gering wie möglich sein. Harze mit hohem Füllstoffgehalt sind schon aus diesem Grund anderen vorzuziehen.

Nähere Einzelheiten können der *TGL 17 448* Blatt 6 und der übrigen Fachliteratur [8, 18] entnommen werden.

5.2. Werkstoffe für den Werkzeugbau

In der industriellen Fertigung und auch in der Amateurtechnik wird man bemüht sein, den Aufwand im Werkzeugbau möglichst niedrig zu halten. Zwischen der Formgebung des Gießlings, der Zahl der Abgüsse, der Gestaltung des Werkzeugs und dem verwendetem Werkstoff besteht ein enger Zusammenhang, über den in den nachfolgenden Abschnitten einige Ausführungen gemacht werden.

Grundsätzlich ist jedes Werkzeug vor der Benutzung mit einem Trennmittel zu versehen, da es sonst, besonders beim Gießen von Epoxidharzen, zum Ankleben kommt. Einzelheiten dazu sind in Abschnitt 6. nachzulesen.

5.2.1. Metalle

Nur bei einfachen Gießlingen aus heißhärtenden Harzen ist es unter Umständen zweckmäßig, Metalle als Formenwerkstoff zu verwenden. Zu solchen einfachen Körpern können neben Gießlingen auch eingebettete Teile gehören.

Metallformen gestatten eine originalgetreue Nachbildung des gegossenen Teils, haben aber den Nachteil, in der Bearbeitung recht aufwendig zu sein. Durch die gute Wärmeleitung der Metalle kommt es besonders bei warm- und heißhärtenden Harzen zu einer gleichmäßigeren Wärmeübertragung bei der Härtung und damit zu weniger Spannungen im gegossenen Teil.

Neben Eisen- werden auch gern Aluminiumformen benutzt, die zwar empfindlicher, aber auch leichter zu bearbeiten sind.

Wichtig ist, daß die Metalloberflächen, die mit dem Gießharz direkt in Berührung kommen, glatt sind. Bei Eisenmetallen reicht bei nicht zu hohen Forderungen ein Polieren, bei Aluminium sollte außerdem eine Aloxierung erfolgen. Da der Amateur diesen Forderungen aber nur sehr schwer nachkommen kann, wird ausführlicher auf leichter anwendbare Werkstoffe eingegangen.

5.2.2. Holz

Zu den am einfachsten zu handhabenden Werkstoffen gehört Holz. Für den Werkzeugbau sollte man Holz nur dann einsetzen, wenn kalthärtbare Harze zum Einsatz gelangen. Harthölzer wie Buche und Eiche sind anderen Sorten vorzuziehen. Es ist darauf zu achten, daß keine Hölzer verwendet werden, die einen hohen Anteil Baumharz enthalten (sogenannte kienige Hölzer), da diese Harze den Härtungsprozeß der Gießharze beeinflussen können, auf jeden Fall aber die elektrischen Isolationswerte negativ beeinflussen (besonders bei feuchter Wärme).

Nachdem die Holzteile entsprechend den Forderungen zuge-

schnitten wurden, ist es erforderlich, die Poren zu versiegeln, da sonst das Gießharz dort eindringen könnte und einen kaum lösbaren Verbund ergibt. Als Siegelmasse eignet sich Zaponlack oder ein Epoxidharzlack, der eventuell nach folgender Rezeptur selbst hergestellt werden kann:

100 MT Epilox EGK 19
20 MT Äthylacetat, Aceton oder Toluol
10 MT Füllstoff K 60
45 MT Härter 8

Sollte kein *EGK 19* zur Verfügung stehen, so kann auch *Epilox EG 34* verwendet werden. Die Rezeptur sieht dann wie wie folgt aus:

100 MT Epilox EG 34
25 MT Äthylacetat, Aceton oder Toluol
10 MT Füllstoff K 60
60 MT Härter 8

Um eine glattere Oberfläche und damit leichtere Entformung zu erreichen, empfiehlt es sich, 2 bis 3 Anstriche vorzunehmen. Nach 48 Stunden ist der Lack so weit getrocknet, daß die Form benutzt werden kann. Die einzelnen Teile der Form können für 2 oder 3 Abgüsse mit Holzschrauben (mit möglichst grobem Gewinde) zusammengehalten werden. Bei höheren Abgußzahlen sind die einzelnen Teile besser mit Durchgangslöchern auszustatten und mit üblichen Maschinenschrauben und Unterlegscheiben unter den Muttern auszurüsten. Besonders bei Holzformen ist auf eine gute Paßgenauigkeit der einzelnen Teile und damit gute Abdichtung der Form zu achten.

5.2.3. Gips

Bisher wurden feste Werkstoffe zur Herstellung von Formen vorgestellt. Ihre Vorteile liegen in der schnellen Fertigstellung geometrisch einfacher Werkzeuge. Schwieriger ist es, geometrisch kompliziertere Teile aus Gießharzen herzustellen.

Der in der Praxis günstigste Weg hat sich wie folgt herausgestellt:

- Man fertigt zunächst ein Modell des Originalteils an. Der zu verwendende Werkstoff hat dabei eine untergeordnete Bedeutung, muß aber den Verfestigungs- bzw. Härtungsbedingungen ohne Deformierung oder Abspaltung flüchtiger oder fester Produkte standhalten.
- Das Modell wird in eine Rahmenform gelegt, die nur die Aufgabe hat, eine Begrenzung für die Werkzeuggießmasse, z. B. Gips, zu bilden. Zweckmäßigerweise besteht die Rahmenform aus vier Seitenwänden und Boden. Das Modell sollte zur besseren Fixierung am Boden mit einem Klebstoff geringer Haftung oder Eigenfestigkeit leicht angeklebt oder anderweitig durch Verstiftung angeheftet werden.
- Modell und Rahmenform werden an den Stellen, an denen sie von der Werkzeuggießmasse berührt werden, mit einem Trennmittel zur leichteren Entformung eingestrichen.
- Der Verguß wird durchgeführt, die Masse härtet und kann nach entsprechender Festigkeitsannahme entformt werden.
- Die Poren der Gipsform sind ähnlich wie bei Holzwerkzeugen zu versiegeln. Neben den dort genannten Klebstoffen kann auch ein mehrmaliger Anstrich mit Wasserglas eine Versiegelung der Oberfläche bewirken.

Von den im Fachhandel angebotenen Gipssorten eignet sich besonders der Modellgips. Er wird durch Zugabe von Wasser zu einem leicht gießfähigen Brei angerührt. Die Masse erstarrt von selbst in kurzer Zeit. Mit der Entformung sollte man aber einen Tag warten, da die Festigkeit des erstarrten Gipses kurz nach dem Festwerden noch relativ gering ist und leicht Beschädigungen an der Form auftreten können.

Gipsformen haben den Vorteil, daß man bei ihnen Unkorrektheiten in der Abbildung sehr leicht beseitigen und ausbessern kann. Neben Gips kann dafür auch ein Epoxidharzspachtel o. ä. verwendet werden.

5.2.4. Epoxid- und Polyesterharze

Die Vielseitigkeit der Anwendung einiger Plastwerkstoffe wird dem Anwender gerade hier auffallen, da diese Produkte bereits als Klebstoffe und Vergußmasse beschrieben wurden.

Doch gerade die Epoxidharze sind es, die zur Herstellung von Werkzeugen für kleine Serien besondere Bedeutung erlangt haben. Für Verfahren, die mit keinem oder nur geringem Druck arbeiten, liegen auch gute Erfahrungen vor [19]. Wie z. B. [20] richtig feststellt, weisen Formkörper und auch Werkzeuge eine beachtliche Oberflächengüte, hohe mechanische Festigkeit, gute Maßhaltigkeit im Abguß und Dimensionsstabilität bei sorgfältiger und technologisch richtiger Herstellung auf. Voraussetzung ist, ähnlich, wie in Abschnitt 5.2.3. beschrieben, ein Urmodell und eine Rahmenform, in die das Modell leicht lösbar angebracht wird. Das Werkzeug wird dann in zwei Stufen hergestellt, wobei man zweckmäßigerweise zwei verschiedene Harze mit unterschiedlichen Aufgaben einsetzt.

Grundsätzlich sollen nur Harze verwendet werden, die eine möglichst geringe Nachschrumpfung aufweisen, also auch keine äußeren Weichmacher, z. B. bei *Epilox EGK 19* oder *Epasol EP 9*, enthalten dürfen. Mit der ersten Schicht werden das Modell und die Rahmenform dünn überzogen. Diese Schicht kann z. B. folgende Zusammensetzungen aufweisen:

100 MT	Epilox EG 34	100 MT	Epilox EG 34
10 MT	Aluminiumpulver	10 MT	Aluminiumpulver
10 MT	Füllstoff K 60	5 MT	Füllstoff K 60
33 MT	Härter 105 oder	12 MT	Härter 3

Die erste Rezeptur muß, wie in Abschnitt 2.1.2. beschrieben, heiß, die Mischung der zweiten Rezeptur kalt gehärtet werden. Die Auswahl ist entsprechend den späteren Anforderungen zu treffen.

Wenn die Absicht besteht, ein Werkzeug aus ungesättigtem Polyesterharz herzustellen, können folgende Rezepturen empfohlen werden:

80 MT	Polyester GG oder G
20 MT	Polyester GM
3 MT	Cyclohexanonperoxid
2 MT	Kobaltbeschleuniger
12 MT	Füllstoff K 60
10 MT	Aluminiumpulver oder

100 MT	vorbeschleunigtes Polyester G (Hobbyplast)
4 MT	Cyclohexanonperoxid
12 MT	Füllstoff K 60
10 MT	Aluminiumpulver

Diese Epoxidharz- oder Polyesterharzschicht wird angehärtet und eine Füllschicht darübergegossen. Für die Füllschicht können folgende Rezepturen empfohlen werden:

100 MT	Epilox EG 34	100 MT	Epilox EG 34
100 MT	Aluminiumgrieß 0—1 mm	200 MT	Quarzmehl, Mahlung 9
20 MT	Graphit 0,1—0,3 mm	5 MT	Füllstoff K 60
5 MT	Füllstoff K 60	33 MT	Härter 105
33 MT	Härter 105 oder		

Bei Anwendung einer kalthärtbaren Gelcoatschicht sollte auch eine ähnliche Füllschicht gewählt werden:

100 MT	Epilox EG 34	100 MT	Epilox EG 34
100 MT	Aluminiumgrieß 0—1 mm	150 MT	Quarzmehl, Mahlung 9
10 MT	Füllstoff K 60	10 MT	Füllstoff K 60
12 MT	Härter 3 oder	12 MT	Härter 3

Bei einer Gelcoatschicht aus Polyesterharz sollte auch die Füllschicht daraus bestehen, z. B.:

80 MT	Polyester GG/G	100 MT	vorbeschleunigter Polyester G (Hobbyplast)
20 MT	Polyester GM	1 MT	Kobaltbeschleuniger
2 MT	Cyclohexanonperoxid	2 MT	Cyclohexanonperoxid
2 MT	Kobaltbeschleuniger	300 MT	Eisenpulver Sorte 0,06
130 MT	Aluminiumgrieß 0—1 mm		
20 MT	Graphit 0,1—0,3 mm		

10 MT Füllstoff K 60	20 MT Füllstoff K 60
5 MT Wachslösung oder	5 MT Wachslösung

In der Literatur [6, 19] werden Hinweise gegeben, wie das Kornspektrum bei Füllstoffen zur Erlangung optimaler Eigenschaften aussehen müßte. Für gewaschenen und geglühten Quarzsand ergibt sich dabei folgendes Bild:

Körnung 0,1 bis 0,3	40%
Körnung 0,3 bis 0,5	15%
Körnung 0,5 bis 1,0	25%
Körnung 1,0 bis 1,5	20%

Neben Eisenpulver, Quarzmehl und Aluminiumgrieß kann auch Kupfer- und Messingpulver bzw. -grieß verwendet werden. Bei der Anwendung von Füllstoffen hoher Dichte ist allerdings zu berücksichtigen, daß sich diese Stoffe sehr leicht absetzen und so inhomogene Werkzeuge bilden.

Zur praktischen Durchführung ist noch zu bemerken, daß die Gelcoatschicht mit einem harten Pinsel aufgetragen werden sollte, dessen Borsten kurz geschnitten worden sind. Die Schichtdicke darf nicht mehr als 1 mm betragen. Der Pinsel muß in Ecken und Kanten nicht gestoßen, sondern gezogen werden, weil sich sonst Lufteinschlüsse kaum vermeiden lassen.

Zum Anhärten muß noch gesagt werden, daß hier der schon feste, aber noch nicht ausgehärtete Zustand bei den Harzen gemeint ist. Das gilt auch für heißhärtende Harze wie *Epilox EG 34* und *Härter 105*. Mischungen damit werden im allgemeinen nach einer 2stündigen Erwärmung bei 80 °C fest, ohne deshalb ausgehärtet zu sein. Nicht berücksichtigt ist dabei die Zeit, die zur Erwärmung des Werkstücks erforderlich ist. Erst nachdem alle Schichten aufgetragen wurden, erfolgt die vollständige Härtung.

Quarzmehl, Quarzsand und, falls vorhanden, auch Siliziumcarbid sind sehr harte Füllstoffe, die sich nur mit Spezialwerkzeugen ohne größeren Verschleiß bearbeiten lassen. Am sinnvollsten scheint die Verwendung von Aluminiumpulver und -grieß.

Bei größeren Werkzeugen ist auch eine etwas andere Technologie möglich. Man trägt auch hier wie bei kleineren Werkzeugen auf das Bezugsmodell und auf den Formkasten bzw. die Rahmenform nach dem Trennmittel eine Gelcoatschicht in der beschriebenen Art auf. Diese Schicht sollte 1 bis 2 mm betragen und mit 2 bis 3 Anstrichen aufgetragen werden.
Danach stellt man sich eine stampfbare Mischung her, die in Schichten von 30 bis 50 mm aufgetragen wird, entsprechend dem in Abschnitt 3.1.4. beschriebenen Prinzip. Folgende Rezepturen können zur Anwendung gelangen:

100 MT Epilox EGK 19
600 MT Quarzsand
11 MT Härter 3 oder

100 MT Epilox EG 34
600 MT Aluminiumgrieß 0,5—1,0 mm
33 MT Härter 105 oder

100 MT Epilox EG 34
300 MT Graphit 0,5—1,0 mm
300 MT Aluminiumgrieß 0,5—1,0 mm
33 MT Härter 105 oder

100 MT Polyester G
2 MT Cyclohexanonperoxid
2 MT Kobaltbeschleuniger
600 MT Quarzsand oder Aluminiumgrieß 0,5—1,0 mm
5 MT Wachslösung (nur bei der letzten Schicht).

Bei feinen Konturen kann gegebenenfalls eine feinere Abschlußschicht mit geringerem Füllstoffgehalt verwendet werden. Man nimmt zweckmäßigerweise eine Zusammensetzung, wie für die Gelcoatschicht beschrieben.
Die vollständige Härtung der Harze erfolgt entsprechend den jeweiligen Bedingungen. Danach wird die Form vom Modell getrennt.

5.2.5. Silikonkautschuk

Die für die Werkzeugherstellung geeigneten Silikonkautschuke stehen dem Amateur nur in Arbeitsgemeinschaften zur Verfügung. Da aber diese Art der Werkzeugherstellung sehr einfach und schnell erfolgen kann, soll in diesem Heft auch kurz darauf eingegangen werden.

Für den Anwendungsfall sind besonders die beiden kaltvulkanisierbaren Typen *NG 3150* (frühere Bezeichnung *NV 348*) und *NG 3000* (frühere Bezeichnung *NVG 3000*) geeignet (22). Es handelt sich bei beiden Produkten um viskose Flüssigkeiten, die mit Hilfe eines Vernetzungsmittels chemisch reagieren und dabei eine feste, gummielastische, weißgraue Masse bilden. Aus der praktischen Erfahrung haben sich besonders die Vernetzer 2 und 3 für Gießprozesse dieser Art als geeignet erwiesen. Die nachstehende Tabelle 5.5 gemäß (21) gibt eine Übersicht über die Gebrauchsdauer mit unterschiedlichem Vernetzer.

Tabelle 5.5
Gebrauchsdauer von Silikonkautschuk in Abhängigkeit von der Art des Vernetzers

	3% Vernetzer 2	3% Vernetzer 3
NG 3150	20–30 Min.	etwa 100 Min.
NG 3000	40–50 Min.	etwa 300 Min.

Ähnlich wie bei Epoxid- oder Polyesterharzen nimmt die Gebrauchsdauer mit steigender Temperatur ab. Die Angaben in Tabelle 5.5 gelten für etwa 20 °C. Bei der praktischen Arbeit wird der Vernetzer mit der Paste gut vermischt. Es ist dabei darauf zu achten, daß möglichst wenig Luft eingerührt wird, da diese besonders bei der Paste *NG 3150* nur schwer entweichen kann. Das Mischen des Ansatzes darf nur so viel Zeit in Anspruch nehmen, daß eine einwandfreie Verarbeitung noch möglich ist. Mit steigender Vernetzerkonzentration sinkt die Gebrauchsdauer der Mischung! Eine ausreichende Härtung

erfolgt für den Typ *NG 3150* innerhalb von 10 Stunden, für *NG 3000* erst nach mindestens 24 Stunden. Die vollständige Vernetzung benötigt eine viel längere Zeit, braucht aber nur dann abgewartet zu werden, wenn besondere mechanische oder dielektrische Forderungen bestehen. Die wichtigsten mechanischen und dielektrischen Eigenschaften werden in Tabelle 5.6 wiedergegeben.

Tabelle 5.6
Einige Eigenschaften der Silikonkautschuke NG 3150 und NG 3000

		NG 3150	NG 3000
Viskosität	cP	20 000	1 300
Farbe		weiß bis grau	grauweiß
Dichte	g/cm^3	—	1,05
Temperaturbeständigkeit	°C	-55 bis $+180$	-50 bis $+180$
kurzzeitige Überlastung	°C	$+250$	$+250$
Zugfestigkeit	kp/cm^2	>25	8
Druckfestigkeit	kp/cm^2	>300	—
Bruchdehnung	%	150	200
Härte	Shore A	40 ± 5	20 ± 5
Dielektrizitätskonstante	—	—	$\leqq 3{,}5$
Verlustfaktor	—	1×10^{-2}	1×10^{-2}
spezifischer Volumenwiderstand	$\Omega \times cm$	1×10^{14}	5×10^{14}
Durchschlagfestigkeit	kV/mm	15	12

Neben diesen Vernetzern gibt es eine Reihe weiterer Produkte, die in ihrer Bedeutung aber nicht so groß sind und deshalb hier nicht weiter erläutert werden sollen.
Erhöht man den Vernetzeranteil, so verkürzt sich die Ge-

brauchsdauer. Mit den Vernetzern 2 und 3 kann man Silikonkautschukpasten bis unter 0 °C härten.

Um ein Anhaften des vulkanisierten Kautschuks an das Modell und die Rahmenform zu vermeiden, sollte vorher als Trennmittel eine wäßrige Seifenlösung, Bohnerwachs oder Mineralöl aufgetragen werden. Spezielle Hinweise dazu sind Abschnitt 6. zu entnehmen

Allgemein wird darauf hingewiesen, daß solche Formen aus Silikonkautschuk keine Trennmittel benötigen. Diese Behauptung ist nur bedingt richtig. Saubere Gießlinge, die sich leicht entformen lassen, erhält man bei mehrmaligen Abgüssen nur, wenn man auch Trennmittel benutzt.

5.2.6. PVC-Pasten

PVC gehört zu den Werkstoffen, die sehr vielseitig angewendet werden. Mit Hilfe von Weichmachern, Wärme- und Lichtstabilisatoren, Extendern, oberflächenaktiven Substanzen, Pastenverdünnern und Pigmenten werden Polyvinylchlorid-Pasten, sogenannte Plastisole, hergestellt, die in ihrer Zusammensetzung und damit in ihren Eigenschaften sehr unterschiedlich sind. PVC-Pasten sind nicht im Einzelhandel erhältlich, stehen also nur Arbeitsgemeinschaften zur Verfügung. Vom Kombinat VEB *Chemische Werke* Buna, Betriebsabteilung Ammendorf, werden gemäß *TGL 23 339* Blatt 1—3 u. a. Pasten hergestellt, mit denen man auch gießen und tauchen kann. Folgende Typen werden dafür angeboten:

PVC-Paste GE 200/45
PVC-Paste GE 200/50
PVC-Paste GE 300/45
PVC-Paste GE 300/50
PVC-Paste GE 400/45
PVC-Paste GE 401/50

Diese Pasten weisen zur Orientierung folgende Eigenschaften auf:

Viskosität	1500–8000 cP
Feuchtigkeitsaufnahme	0,2%
Zugfestigkeit	60– 90 kp/cm²
Dehnkraft bei Höchstkraft	280–380%
Härte nach Shore A	60– 68

Besonders die beiden Pasten *GE 400/45* und *GE 401/50* sind für die Herstellung von Primitivwerkzeugen geeignet. Prinzipiell ist es auch möglich, Gießpasten selbst herzustellen. Die Fachliteratur gibt dazu genügend Hinweise [23, 24, 25, 26, 27, 28].
Im Verhältnis zu anderen Gießprozessen sind PVC-Pasten relativ leicht zu verarbeiten. Bei Temperaturen zwischen 150 °C und 200 °C, vorzugsweise bei 180 °C, tritt nach kurzer Zeit eine genügende Gelierung auf. Im allgemeinen reichen 60 Minuten für eine 10 mm dicke Schicht aus. Es ist darauf zu achten, daß die Hitze an allen Stellen gleichmäßig wirken kann. Die vor Gebrauch umgerührte Paste wird dazu in die Form gegossen und kann dann im Ofen gelieren. Man kann sowohl in vorgeheizte als auch in kalte Formen gießen. Die Entformung geschieht sehr leicht, so daß auch kein Trennmittel verwendet werden muß. Die Wanddicke der Form liegt zwischen 2 mm und 10 mm.
Kleine Modelle aus Metall oder keramischem Material können auch getaucht werden. Man erwärmt dazu das Modell auf 130 bis 180 °C und taucht es in die Paste ein. Nach kurzer Zeit ist das Modell herauszuziehen und bei 170 bis 190 °C zu gelieren. Die gelierte PVC-Paste läßt sich nach dem Erkalten mühelos abstreifen.
Da sich PVC-Pasten nicht wie übliche Flüssigkeiten verhalten, sind im allgemeinen einige Handversuche erforderlich, um die notwendige Fertigkeit zu erwerben.

5.3. Werkzeugaufbau

Je nach Anforderungen wird der Werkzeugaufbau mit den vorhandenen Möglichkeiten und Hilfsmitteln abgestimmt. Wie

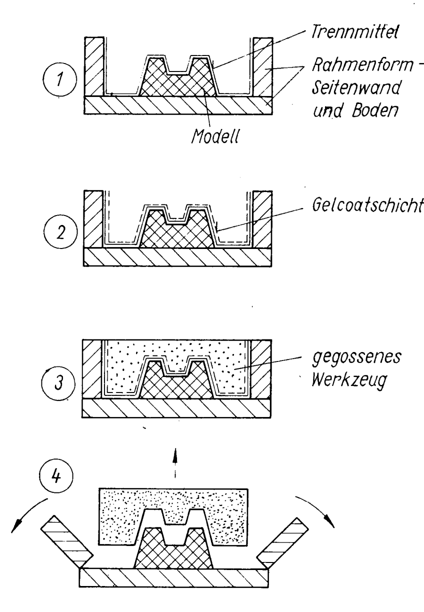


Bild 5.3
Arbeitsschritte von der Werkzeugvorbereitung bis zur Entformung;
1 — Rahmenform mit befestigtem Modell und aufgetragenem Trennmittel, 2 — Modell und Rahmenform werden mit einer Gelcoatschicht eingestrichen, 3 — eingegossenes Harz,
4 — Entformung

bereits in Abschnitt 5.2. an einigen Stellen angedeutet, benötigt man für einfache Teile Rahmenformen, in die das Modell eingelegt und befestigt wird. In Bild 5.3 sind in den Darstellungen 1 bis 4 die Arbeitsschritte und die notwendigen Hilfsmittel zu sehen, die bei der Herstellung von Werkzeugen aus gießfähigen Kunststoffen benötigt werden.

Da bei komplizierten Gestaltungen die Entformung Schwierigkeiten bereiten kann, sind die Werkzeuge zweckmäßigerweise mit Trennhilfen und Auswerfern auszustatten. Das Bild 5.4 stellt ein solches Werkzeug dar, das hier nur als Demonstrationsmodell benutzt wurde.

Wichtig ist, daß mehrteilige Werkzeuge dicht sind, da sonst das Harz ausläuft. Eine gewisse Abdichtung wird durch das Trennmittel erreicht.

Weitere Hinweise sind der speziellen Literatur zu entnehmen [18, 19, 20, 29, 30, 31].

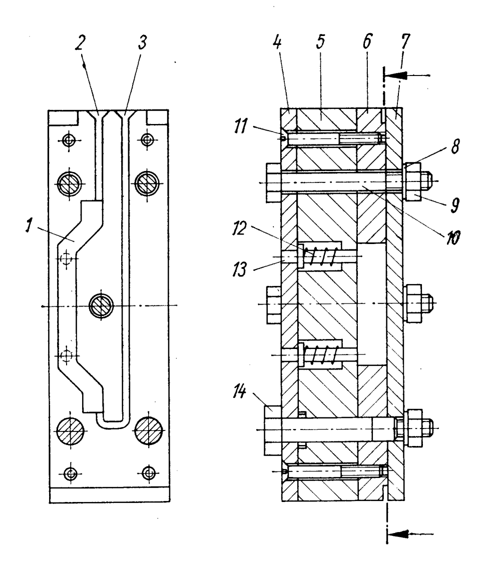


Bild 5.4 Werkzeug mit technischen Hilfsmitteln zur Entformung; 1 — Formteil, 2 — Steiger, 3 — Anguß, 4 — Deckplatte, 5 — Zwischenplatte, 6 — Formplatte, 7 — Deckplatte, 8 — Unterlegscheibe, 9 — Sechskantmutter, 10 — Sechskantschraube, 11 — Senkschraube, 12 — Druckfeder, 13 — Auswerferstift, 14 — Führungsbolzen mit Passung (H7/m6 für den festsitzenden Teil, H7/f7 für den losen Teil)

6. Trennmittel

Bevor der Gießprozeß beginnen kann, ist das gereinigte und zusammengebaute Werkzeug mit einem Trennmittel einzureiben. Diese Behandlung ist auch bei Werkzeugen aus Silikonkautschuk vorzunehmen, da diese bei mehrmaliger Benutzung ebenfalls keine einwandfreie Lösung vom Gießling gewährleisten. Grundsätzlich muß vor jedem Guß ein Trennmittel benutzt werden, da sonst speziell bei Epoxidharzen eine Entformung ohne Zerstörung des Gießlings oder des Werkzeugs kaum möglich ist (Ausnahme sind PVC- und Silikonkautschuk-Werkzeuge). Die in der Industrie gebräuchlichen Trennmittel können auch in der Amateurtechnik empfohlen werden. Die folgende Tabelle 6.1 gibt dazu einen Überblick.

Tabelle 6.1
Übersicht der wichtigsten Trennmittel

Basis	Handelsname
Silikonöl	Silikonöl NM 1-50
	Silikonöl NM 1-200
	Silikonspray 200
	Silikonfett NP 13
Wachs/Wasser-Dispersionen	Exprotekt
Wachssuspension	Aero 46
Bohnerwachs	alle festen Bohnerwachse, die der Fachhandel anbietet
Bienenwachs	Bienenwachs

Da Bienenwachs relativ hart ist, stellt man sich zweckmäßigerweise eine Lösung von 15 MT Bienenwachs in 85 MT Trichloräthylen oder Perchloräthylen oder Methylenchlorid her. Bei allen Trennmitteln, die Lösungsmittel enthalten, ist vor

dem Eingießen eine Wartezeit von etwa 60 Minuten zum Abdunsten des Lösungsmittels einzuhalten.

Für kalthärtende Harze hat sich Bohnerwachs am besten bewährt. Für heißhärtende Harze sind Silikonöle zu bevorzugen. Allgemein ist auf einen dünnen, aber gleichmäßigen Auftrag zu achten. Eine auf 30 bis 40 °C erwärmte Form läßt sich leichter einreiben als eine sehr kalte Form. Zum Auftragen sollten Pinsel, Lappen oder Zellstoff, aber keine scharfen Gegenstände benutzt werden, da sonst die Oberfläche des Werkzeugs oder auch das Modell Kratzer bekommen kann.

7. Technologie des Gießens

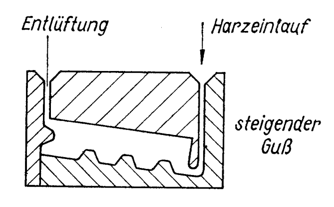
Bevor gegossen wird, ist die Form zu reinigen und Trennmittel aufzutragen. Danach ist das Harz anzurühren. Die Gießform sollte die gleiche Temperatur haben wie das zu verarbeitende Harz. Das gilt besonders für kompliziertere Konturen, die man einwandfrei abgebildet haben möchte. Zu hohe Werkzeugtemperaturen können eine starke Verkürzung der Gebrauchsdauer bedeuten, was u. a. zu fehlerhaften Gießlingen führen kann.

Beim Gießen ist darauf zu achten, daß keine Luftblasen eingegossen werden. Der Strahl soll gerade und gleichmäßig einlaufen, keine Schlingen, Schrauben oder sonstige Figuren bilden. Er soll kreisförmig und nicht als Band auslaufen. Das wird am leichtesten dadurch erreicht, indem man aus geringer Höhe gießt und ein Gefäß mit nicht zu großem Öffnungsdurchmesser verwendet wie z. B. flexible Kunststoffbecher, die leicht die gewünschte Form annehmen können.

Lunkern können im Gießling weiterhin dadurch entstehen, daß es bei Gießformen, die Querschnittsverengungen aufweisen, zu Stauungen kommen kann, die Lufteinschlüsse ermöglichen. Abhilfe schaffen in solchen Fällen oft die Schräglage des Werkzeugs und ein steigender Guß.

In Bild 7.1 ist das Prinzip des fallenden und steigenden Gusses wiedergegeben.

Beim steigenden Guß wird das Werkzeug von der tiefsten Stelle an gefüllt und so die Luft besser aus den Hohlräumen des Werkzeugs vertrieben. Diese Verfahrensart sollte für geschlossene Formen und kompliziertere Teile angewendet werden. Der Durchmesser der Harzeinlaufbohrung darf nur so groß sein, daß sich diese voll mit Harz füllt. Die trichterförmige Öffnung am Anguß muß während des gesamten Gießprozesses mit Harz gefüllt bleiben. Je nach Konsistenz des



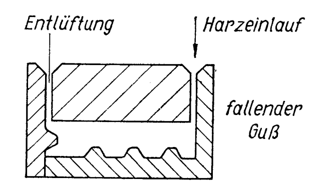


Bild 7.1
Prinzipdarstellungen für den steigenden und fallenden Guß

Harzes und Größe des Werkzeugs sind Bohrungen zwischen 3 mm und 10 mm Durchmesser im allgemeinen ausreichend.

8. Entformung von Gießlingen

Bei Rahmenwerkzeugen, die aus leicht befestigten Einzelteilen bestehen, wird die Entformung durch Zerlegen der Form vorgenommen. Alle kalthärtenden Harze werden bei Raumtemperatur entformt, heißhärtende Harze, z. B. *Epilox EG 34* mit *Härter 105*, bei 80 bis 100 °C, da sonst unter Umständen durch die Temperaturschrumpfung Entformungsschwierigkeiten auftreten können. Das gilt besonders für Werkzeuge, die mit Schiebern oder Kernen ausgestattet sind, die bei ungenügenden Wandschrägen klemmen können und sich dann nicht ziehen lassen.

Werkzeuge sollten zum leichteren Zerlegen Trennspalten enthalten, in die ein Schraubenzieher gesteckt werden kann, und durch Drehen kann man dann trennen.

Kompliziertere Werkzeuge können durch Schrauben und Gewindebolzen zusammengehalten und auseinandergedrückt werden, wie im Prinzip in Bild 8.1 angedeutet.

Man sollte auch bei kleinen Werkzeugen keine Schrauben unter M6 zum Drücken verwenden.

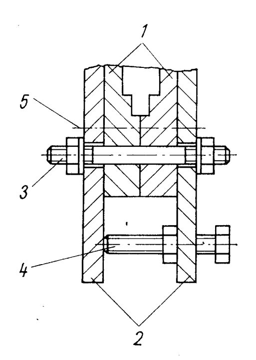


Bild 8.1
Trennhilfen; 1 — Formplatten, 2 — Deckplatten, 3 — Gewindebolzen mit Passung (H7/f7), 4 — Sechskantschraube, zum Auseinanderdrücken der beiden Deckplatten, 5 — Senkschraube

9. Nachbearbeiten von Gießlingen

Die Nachbearbeitung von gegossenen Körpern bezieht sich auf die Entfernung des Trennmittels (nur wenn erforderlich), die Entgratung und gegebenenfalls die spanabhebende Bearbeitung sowie die Beseitigung von Lunkerstellen oder anderen Oberflächenfehlern.
Das Trennmittel kann, wenn notwendig, leicht durch Abreiben des Gießlings mit in Methylenchlorid, Aceton, Spiritus, Äthylacetat getränktem Zellstoff oder mit anderen geeigneten Lösungsmitteln entfernt werden. Es ist darauf zu achten, daß das Lösungsmittel den Plastwerkstoff nicht anlöst, was besonders für Piacryl gilt, das möglichst nur mit Seifenlösungen oder Spiritus abgewaschen werden soll. Auch flüssige Fensterputzmittel sind geeignet.
Trotz sauberen Arbeitens können die Gießlinge Luftblasen, sogenannte Lunkerstellen, enthalten. Wenn sich diese dicht unter der Oberfläche befinden oder wenn sie als Löcher ausgebildet sind und sie sich auf die spätere Funktion störend auswirken, sollten sie beseitigt werden. Zweckmäßigerweise wird dazu die Lunkerstelle weit mit einem feinen scharfen Dreikantschaber, wie in Bild 9.1 dargestellt, geöffnet und mit einem geeigneten Harz ausgespachtelt.
Als Harzgrundstoff wird möglichst der gleiche wie im Gießharz verwendet! Beim Ausspachteln von Polyesterteilen mit Polyestermassen kann man die gespachtelte Stelle mit einer Polyäthylen- oder Perfolfolie abdecken. Nach der Aushärtung wird die Folie abgezogen, und man kann eine mechanische Nachbearbeitung vornehmen.

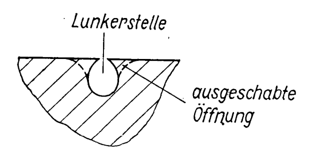


Bild 9.1
Geöffnete Lunkerstelle

10. Arbeitsschutz

Über den Umgang mit Epoxid-, Polyester- und anderen Harzen sowie Lösungsmitteln wurden bereits in der Broschüre „Kleben in der Amateurtechnik“ in Abschnitt 9. Ausführungen gemacht. Da beim Gießen im allgemeinen wesentlich größere Materialeinsätze erforderlich sind, ist besonders auf die Einhaltung bestimmter Vorsichtsmaßnahmen zu achten. Zusammenfassend sollen hier nur die Schwerpunkte genannt werden:

- Auf den Arbeitsplatz gehören keine Nahrungs- und Genußmittel.
- Es ist eine zweckmäßige Kleidung (z. B. weißer Kittel) zu tragen, zu der je nach Bedarf Gummihandschuhe und vor allem eine Schutzbrille gehören müssen.
- Die Räume sind gut zu belüften, denn einige Lösungsmittel und Harze sind stark gesundheitsschädigend. Da von den gegossenen Körpern, solange sie flüssig sind, noch Stoffe verdampfen können (z. B. Styrol bei Polyester), sollte, wie in [33] beschrieben, die Belüftung noch etwa 2 Stunden fortgesetzt werden.
- Während der Arbeit ist das Rauchen verboten, und es darf keine offene Flamme in der Nähe sein, da einige Lösungsmittel und Rohstoffe leicht brennbar sind.
- Harzspritzer sind von der Haut mit trockenem Zellstoff abzuwischen. Danach ist gründlich mit Wasser und Seife zu waschen.
- Nach der Arbeit und in Arbeitspausen sind die Hände zu waschen.
- Peroxide dürfen nicht mit Beschleunigern direkt zusammengebracht werden, da Explosionsgefahr besteht. Die Lagertemperatur sollte zwischen 10 °C und 25 °C liegen,

da sonst die Zerfallgeschwindigkeit unnötig ansteigt. Ebenso darf kein Sonnenlicht einwirken, und Verunreinigungen müssen vermieden werden. Zu niedrige Temperaturen können zu Entmischungen führen, die explosibel sind. Die Augen sind vor Spritzern zu schützen, Erblindungsgefahr! Wenn solch Unfall eintritt, ist sofort mit 2%iger Natriumbicarbonatlösung und danach mit Wasser zu spülen. Es ist danach sofort ein Arzt aufzusuchen.

— Beim Umgang mit Peroxiden, aminischen Härtern u. a. gefährdenden Stoffen ist unbedingt eine Schutzbrille zu tragen.

11. Erläuterung häufig verwendeter Begriffe

Soweit die Begriffe in Standards definiert wurden, ist die Erklärung sinngemäß oder gekürzt übernommen worden.

Elastifizierungsmittel
organische Stoffe oder Stoffgemische, die als Zusatz zum Klebstoff/Gießharz den verfestigten Klebstoff/das verfestigte Gießharz intern oder extern elastisch machen

Ester
sind Verbindungen zwischen Säuren und Alkoholen, die sich unter chemischer Reaktion bilden

Extender
sind Weichmacher für PVC, die nur begrenzt neben Primärweichmachern zugesetzt werden können. Typische Vertreter sind Hexyl- und Octylstearat

Formbeständigkeit in der Wärme nach Martens*) *TGL 14 071* und *TGL 14 072*
Formbeständigkeit in der Wärme nach Martens ist die Fähigkeit eines Prüfkörpers, unter bestimmter ruhender Biegebeanspruchung seine Form bis zu einer bestimmten Temperatur weitestgehend zu bewahren. Sie wird durch die Temperatur gekennzeichnet, bei welcher der zunehmend erwärmte Prüfkörper unter einer bestimmten Last um einen bestimmten Betrag durchgebogen ist

Gebrauchsdauer
Zeitspanne zwischen Beginn der Verwendungsfähigkeit des Harz-Härter-Gemisches und dessen Unbrauchbarwerden

Gelcoatschichten
sind Oberflächenschichten, die oft Farbstoffe und thixotropierende Zusätze, seltener Füllstoffe, und keine Verstärkungsmittel enthalten

Härten
Verfestigung des Klebstoffs bzw. Gießharzes in sich und durch chemische Reaktion wie Polykondensation, Poly-

merisation, Polyaddition oder Vulkanisation. Je nach Temperatur wird das Härten als Kalthärten (bis 40 °C), als Warmhärten (über 40 °C bis 90 °C) oder Heißhärten (über 90 °C) bezeichnet

hochdisperse Kieselsäuren
wirken als Thixotropiemittel. Man versteht darunter Füllstoffe, die das Fließverhalten eines Harzes oder Harz-Härter-Gemisches so steuern, daß es im Ruhezustand eine hohe und bei mechanischer Bewegung eine niedrigere Viskosität aufweist

insitu-Addukte
sind Reaktionsprodukte aus Harzen udd Härtern mit einem starken Härterüberschuß, so daß keine Härtung der Harze eintritt. Die Reaktion selbst ist eine Polyaddition, bei der keine Spaltprodukte entstehen. Durch den Anteil noch vorhandener aktiver Wasserstoffatome können sie mit Epoxidharzen reagieren. Im Gegensatz zu den reinen Addukten enthalten insitu-Addukte noch nicht umgesetzten Härter

MT
Masseteile

Schlagzähigkeit*) *TGL 14 068*
Die Schlagzähigkeit ist die von einem ungekerbten Prüfkörper verbrauchte Schlagarbeit, bezogen auf den Querschnitt des Prüfkörpers vor dem Versuch

Spannungsrißkorrosion
entsteht durch Witterungs-, Chemikalieneinflüsse oder allgemein durch die Einwirkung oberflächenaktiver Medien, die zu Rissen unterschiedlicher Größe auf der Kunststoffoberfläche führen

Vernetzer
sind Aktivatoren, die die Einzelmoleküle des Kautschuks zur Verknüpfung anregen

Viskosität*) *TGL 107-02165*, 1 und *TGL 14 301*, 1
Viskosität oder Zähigkeit ist die Eigenschaft einer Flüssigkeit, der gegenseitigen Verschiebung zweier benachbarter Schichten einen Widerstand (innere Reibung) entgegenzusetzen

Wärmeleitfähigkeit*) *TGL 8760 — TGL 8762*

Die Wärmeleitfähigkeit ist eine Stoffeigenschaft, die angibt, wie groß in einem gegebenen Temperaturfeld der Wärmestrom ist, der die Meßfläche unter der Wirkung des in Richtung der Flächennormale genommenen Temperaturgefälles durchströmt

Wärme- und Lichtstabilisatoren

PVC unterliegt bei Wärme und/oder Lichteinwirkung der Zersetzung. Um diese sehr komplexen Nebenerscheinungen in Grenzen zu halten, setzt man dem PVC Stoffe zu, die dieser Reaktion entgegenwirken und außerdem die Spaltprodukte binden und unschädlich machen

Wasserglas

wäßrige Lösung einer erstarrten Schmelze aus Alkalioxid und Kieselsäure

*) Handbuch der Elaste und Plaste, VEB *Chemische Werke* Buna, Merseburg 1967

Literaturverzeichnis

[1] Kleb-, Gießharz- und Laminiertechnik, H. 1, Theoretische Grundlagen, KdT
[2] Prospekt über Epilox EGK 19, VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“
[3] Prospekt über Epilox EG 34, VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“
[4] Prospekt über Polyester G Schkopau, VEB Kombinat Chemische Werke Buna
[5] Prospekt über Cenusil, VEB Chemiewerk Nünchritz
[6] *Harper, Ch:* Gießharze in der elektronischen Technik, Carl Hanser Verlag, München 1963
[7] *Wende/Moebes/Marten:* Glasfaserverstärkte Plaste, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969
[8] Leichtbaukatalog des Instituts für Leichtbau
[9] *Rost, A.:* Gießharzmassen in der Elektrotechnik, Kunststoff-Rundschau 1965, S. 126—132
[10] *Rost, A.:* Verarbeitungstechnik der Epoxid-Gießharze, Carl Hanser Verlag, München 1963
[11] *Jahn, H.:* Epoxidharze, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969
[12] *Paquin, A. M.:* Epoxidverbindungen und Epoxidharze, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958
[13] *Weigel, K.:* Epoxidharzlacke, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft m.b.H., Stuttgart 1965
[14] *Schwarz, H., Schlegel, H.:* Metallkleben und glasfaserverstärkte Plaste in der Technik, VEB Verlag Technik, Berlin 1972
[15] TGL 17 448 Blatt 4, Ausgabe Oktober 1965
[16] Autorenkollektiv: Technische Formeln, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1962
[17] Autorenkollektiv: Hütte I, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1955

[18] *Schaaf, W.*, und *Hahnemann, A.:* Verarbeitung von Plasten, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1970

[19] Autorenkollektiv: Beiträge zum konstruktiven Plasteinsatz: Gestaltung und Einsatz von Formteilen aus PUR-Hartschaumstoffen und PUR-Strukturschaumstoffen sowie von Schäumwerkzeugen, Institut für Leichtbau und ökonomische Verwendung von Werkstoffen Dresden, 1973, Herausgegeben im Auftrag des Ministeriums für Materialwirtschaft

[20] *Sender, K.-W.:* Die Anwendung von Epoxidharzen im Werkzeug-, Formen- und Modellbau, Kunststoff-Rundschau, H. 11, 1965, S. 628–633

[21] Prospekt über kalthärtende Silikonkautschukpasten vom VEB Chemiewerk Nünchritz

[22] Prospekt über kalthärtende Silikonkautschukvergußmasse NG 3000 vom VEB Chemiewerk Nünchritz

[23] Informationsschrift des Kombinats VEB Chemische Werke Buna

[24] TGL 23 339, Blatt 1–4

[25] *Klimsch, P.:* Neuere Entwicklung bei der Stabilisierung von PVC, Plaste und Kautschuk, H. 5, 1972, S. 325 bis 343

[26] Prospekt über „PVC-Pulver aus Schkopau" vom Kombinat VEB Chemische Werke Buna

[27] *Hille, H.:* Verpastbares Vinylchlorid-Vinylacetat-Copolymerisat für Beschichtungen, Kunststoff-Rundschau, H. 6, 1969, S. 335–341

[28] *Hille, H.:* Derzeitiger Stand der Herstellung und Verarbeitung von PVC-Pasten, Gummi-Asbest-Kunststoffe, H. 9 und 10, 1970, S. 932–942, 1106–1116

[29] Gießharz zum Herstellen von Spritzgießwerkzeugen, Kunststoffe, H. 2, 1973, S. 113–114

[30] *Gemmer, H./Hörburger, A., Geyer, H.:* Anlage der Werkzeugtemperierung und Einfluß auf die Eigenschaften von Spritzgußteilen, Kunststoff-Rundschau, H. 2/3, 1972, S. 52–55

[31] *Heitz, E.:* Die Frontgußtechnik, Kunststoff-Rundschau H. 12, 1971, S. 663–670
[32] Bezirksneuererzentrum Erfurt, VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“: Formeinsätze für Spritzgußwerkzeuge aus Epoxidharz, Der Erfahrungsaustausch, H. 103, Erfurt, September 1971
[33] *Hoehle, G.:* Maßnahmen zur Einhaltung des Arbeitsschutzes bei der Herstellung von GUP-Bauteilen, Plaste und Kautschuk, H. 4, 1971, S. 289–292
[34] *Parker, E.:* Die Veredlung von PVC-Erzeugnissen durch verbesserte Stabilisierungssysteme, Kunststoffe, H. 8, 1957, S. 443–445

